

**CHEMIE, GEOGRAPHIE, NACHHALTIGKEIT -
INNOVATIVE UND INTERDISZIPLINÄRE ANSÄTZE ZUR
NACHHALTIGKEITSBILDUNG**

DISSERTATION

eingereicht zur Erlangung des Grades Doktor der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)

von

Christian Zowada

Fachbereich 02 – Biologie und Chemie
Universität Bremen

1. Gutachter

Prof. Dr. Ingo Eilks, Universität Bremen

2. Gutachter

Prof. Dr. Leif O. Mönter, Universität Trier

3. Gutachter

Prof. Dr. Bernd Ralle, Technische Universität Dortmund

Bremen, Juli 2019

„Die Geographie vertritt das Reisen und erweitert den Gesichtskreis nicht wenig. Sie macht uns zu Weltbürgern und verbindet uns mit den entferntesten Nationen. Ohne sie sind wir nur auf die Stadt, die Provinz, das Reich eingeschränkt, in dem wir leben. Ohne sie bleibt man, was man auch gelernt haben mag, beschränkt, begrenzt, beengt. Nichts bildet und kultiviert den gesunden Verstand mehr als Geographie.“

zugeschrieben Immanuel Kant (1724-1804) in Geographie

Danksagung

Zunächst möchte ich Prof. Dr. Ingo Eilks für die Chance danken, meine Arbeit in seiner Arbeitsgruppe anfertigen zu können. Viel mehr noch ein Dank für die zahlreichen Chancen einen theoretischen Blick über den Tellerrand sowie, im ganz praktischen Sinne, über die europäischen Grenzen zu werfen. Darüber hinaus danke ich der gesamten Arbeitsgruppe für die schöne Zeit, insbesondere Nadja Frerichs für die Unterstützung bei aller Hand kleinen und großen Fragen sowie Antje Siol für die Zusammenarbeit im Phosphat-Projekt. Außerdem möchte ich mich bei Xiaoge Chen für die lustige und entspannte Zeit bedanken (谢谢)!

Außerordentlich möchte ich mich bei sämtlichen Lehrerinnen und Lehrern aus Dortmund, Bremen und umzu bedanken, die bei verschiedenen Teilen der Arbeit mitgewirkt haben.

Bedanken möchte ich mich insbesondere bei Prof. Dr. Leif Mönter, Prof. Dr. Ozcan Gualacar und Prof. Dr. Dr. Vânia G. Zuin für die Zusammenarbeit bei Teilen dieser Arbeit, insbesondere Vânia G. Zuin für meine Zeit in Brasilien.

An dieser Stelle gebührt auch Dank der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), insbesondere Ulrike Peters, für die Unterstützung bei der Umsetzung des Teilbereiches Phosphatrückgewinnung sowie dem Deutschen Akademischen Austausch Dienst (DAAD) bzw. BremenIDEA für die Finanzierung meines Aufenthaltes in Brasilien.

Abschließend möchte ich mich auch bei meiner Familie und bei meinen Freunden bedanken, die mich in der Zeit meiner Promotion unterstützt haben.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sollen Möglichkeiten für die sinnvolle Einbindung geographischer Perspektiven in den Chemieunterricht zur Stärkung einer Bildung für nachhaltige Entwicklung aufgezeigt werden, indem zunächst theoretische Überlegungen dargestellt werden und im Anschluss eine Interviewstudie mit Lehrkräften beschrieben wird, um dann drei Fallstudien zu den Themen Fracking, Pestiziden und Phosphatrückgewinnung vorzustellen. Die Einbringung nachhaltigkeitsorientierter Themen in den Chemieunterricht ist nach wie vor rar, was angesichts aktueller Trends wie den planetaren Leitplanken, den *Sustainable Development Goals* oder dem Diskurs um das Anthropozän nötig erscheint. Hierfür eignen sich *Socio-Scientific Issue* orientierte Ansätze, welche über das Erlernen des rein chemischen Inhalts hinausgehen und in den Fallstudien genutzt wurden.

Um die Perspektive von Lehrkräften bzgl. einer Einbindung der Geographie zu untersuchen, wurde eine Interviewstudie durchgeführt, welche nach eben jener fragt. Die Lehrkräfte äußern sich grundsätzlich positiv, beschränken sich aber überwiegend auf einen physisch-geographischen Anteil. Ein häufig genannter Aspekt ist ein ganzheitlicherer Blick, den Lernende gewinnen könnten, wobei viele Lehrkräfte auch von einer Zeitdruckproblematik sprechen und sich geeignetes Material wünschen.

Die Fallstudien wurden mit partizipativer Aktionsforschung in einem jeweils mehrzyklischen Verfahren entwickelt und durch den Einsatz von Fragebögen evaluiert. Die Fallstudie zum Fracking wurde in Deutschland mittels einer digitalen Lernumgebung umgesetzt und konnte positive Rückmeldungen erzielen. Zusätzlich wurde die Lernumgebung in das Englische übersetzt und in den USA in einem *General Chemistry* Kurs erprobt. Die Fallstudie zu Pestiziden beinhaltet den Vergleich von Glyphosat mit grünen Pestiziden, welche mit speziell entwickelten Spinnendiagrammen verglichen werden. Unterstützt wird dies durch Video-Vignetten einer brasilianischen, aktiv an alternativen Pestiziden forschenden Chemikerin. Die Rückmeldungen insbesondere zu den Spinnendiagrammen sind positiv und es wird deutlich, dass diese Methode es ermöglicht, über aktuelle Themen im Unterricht komplexitätsreduziert zu diskutieren. Die Fallstudie zur Phosphatrückgewinnung beinhaltet in Deutschland Experimente, bei denen aktuelle Verfahren der Rückgewinnung adaptiert wurden und eine digitale Lernumgebung. Anschließend wurde die Lernumgebung analog zur Fallstudie Fracking in das Englische übersetzt und eingesetzt. Die Rückmeldung zu den in Deutschland eingesetzten Lernumgebung ist lobend und die Experimente wurden positiv wahrgenommen sowie als gut verknüpft mit der Lernumgebung bezeichnet. Die Rückmeldung der Studierenden zu beiden Fallstudien in den USA ist ebenfalls positiv, jedoch wird die Sinnhaftigkeit der Inhalte durch einige Studierende in Frage gestellt, vornehmlich aufgrund fehlender Verbindungen zu einem Test. Die Erprobungen in den USA wurden durch einen Aktionsforschungsansatz gestaltet, welche durch ein entwickeltes Modell beschrieben wird.

Durch diese Arbeit kann aufgezeigt werden, welches Potential die Orientierung des Faches Chemie zu einer gesellschaftlicheren Perspektive beinhaltet, um wohlmöglich ein höheres Interesse zu wecken, aber vielmehr noch, um aufzuzeigen, in welchen vielfältigen Lebensbereichen die Chemie eine Rolle spielt. Obgleich das Fach Geographie genutzt wurde, kann generell festgehalten werden, dass Blicke über den Tellerrand eines Faches gewinnbringend sein können und daher verstärkt genutzt werden sollten.

Abstract

This dissertation aims at supporting a meaningful integration of geographical perspectives and contexts into chemistry teaching for strengthening Education for Sustainable Development. In order to elaborate on this framework, theoretical considerations were made, and an interview study was conducted followed by three case studies on fracking, pesticides and phosphate recovery.

The inclusion of sustainability-related topics in chemistry education, which seems to be necessary in light of current trends such as the planetary boundaries, the United Nations Sustainable Development Goals, or the discourse on the Anthropocene, is still rare. For designing and conducting the case studies, socio-scientific issue-oriented approaches were used, which go beyond learning the pure chemical content.

For determining the teachers' beliefs on integrating a geographic perspective into chemistry teaching, an exploratory interview study was conducted. The teachers' beliefs towards this perspective are mostly positive but are predominantly limited to a physical-geographical dimension. A common aspect is a more holistic view which could be beneficial for students. Some teachers also named time constraints as an obstacle for integration.

The case studies were designed by using participatory action research with a group of experienced teachers in a multi-cyclical procedure and evaluated by questionnaires. The case study on fracking was implemented in Germany using a digital learning environment and was generally positively perceived. In addition, the learning environment was translated into English and tested in the USA in a general chemistry course. The case study on pesticides involves a comparison of glyphosate with green pesticides in order to develop spider charts. The teaching approach is supported by video vignettes of an authentic Brazilian chemist working on alternative pesticides. The feedback, especially on the spider charts, is positive and provides the chance to discuss current topics in the classroom. The case study on phosphate recovery in Germany includes lab activities for which current recovery processes were adapted and a digital learning environment was created. The feedback on the experiments, the learning environment and the links between these aspects were positive. Subsequently, the learning environment was translated into English analogous to the Fracking case study and used in the USA. Feedback from students on both case studies in the US is positive, but some students question their usefulness due to lack of connection to a test.

The studies in the USA were designed through an action research-oriented approach, which is presented and explained by using a specially developed model.

Finally, this work demonstrates the potential of the orientation of chemistry towards a more societal perspective in order to arouse greater interest and possibly show in which areas chemistry impacts daily life. Although the subject of geography was used here, it can generally be said that thinking out of the box for a subject can be profitable and should therefore be used more intensively in the future.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	I
Zusammenfassung	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	1
2. Theoretischer Überblick	2
2.1 Nachhaltige Entwicklung in planetaren Belastungsgrenzen	2
2.2 Nachhaltigkeit, Chemie & Geographie	6
2.3 Socioscientific issues	9
2.4 Rationale und Überblick der Arbeit	12
3. Die Perspektive von Lehrkräften	15
4. Fracking	21
4.1 Fachliches	21
4.2 Implementierung	22
4.3 Ergebnisse	23
4.3.1 Deutschland	23
4.3.2 USA	24
4.4 Diskussion	25
5. (Grüne) Pestizide	26
5.1 Fachliches	26
5.2 Implementierung	28
5.3 Ergebnisse	29
5.4 Diskussion	31
6. Phosphatrückgewinnung	32
6.1 Fachliches	32
6.2 Implementierung	33
6.2.1 Deutschland	33
6.2.2 USA	34
6.3 Ergebnisse	34

6.3.1 Deutschland	34
6.3.2 USA	35
6.4 Diskussion	37
7. Aktionsforschung	38
7.1 Aktionsforschung für Innovationen in der US-Lehre	39
8. Schlussfolgerung und Ausblick	41
9. Literaturverzeichnis	43
10. Publikationen	55
10.1 Erklärung der Eigenanteile	57
Anhang	63
Anhang I: Theoretischer Hintergrund	64
Anhang II: Perspektive von Lehrkräften	100
Anhang III: Fallstudie Fracking	119
Anhang IV: Fallstudie Pestizide	128
Anhang V: Fallstudie Phosphat	152
Anhang VI: Aktionsforschung	158
Anhang VII: Erhebungsinstrumente	165
Anhang VII.1: Interviewleitfaden	166
Anhang VII.2: Fragebogen zum Unterrichtsmodul Fracking	168
Anhang VII.3: Questionnaire on the teaching about fracking	170
Anhang VII.4: Knowledge Test on Fracking	172
Anhang VII.5: Fragenbogen zum Unterricht über Pestizide	176
Anhang VII.6: Beobachtungsbogen Unterricht zu Pestiziden für Lehrkräfte	178
Anhang VII.7: Fragenbogen zum Schülerlaborbesuch Phosphat	179
Anhang VII.8: Questionnaire on the teaching about Phosphates	181
Versicherung an Eides Statt	182

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verschiedene Konzepte der Nachhaltigkeit (nach Leinfelder 2018)	3
Abbildung 2 Planetare Belastungsgrenzen (? = Kontrollwerte bislang nicht definiert; Müller und Niebert, 2017).....	4
Abbildung 3 Drei-Säulen Modell der Geographie (Weichhart, 2003).....	8
Abbildung 4 Modell des gesellschaftskritische-problemorientieren Chemieunterrichts (Marks & Eilks, 2009)	11
Abbildung 5 Überblick Lernumgebungen in deutscher (links) und englischer (rechts) Sprache	23
Abbildung 6 Übersicht Likert-Items in deutschen Lerngruppen (n=54).....	23
Abbildung 7 Übersicht Likert items in einer amerikanischen Lerngruppe (n=842)	24
Abbildung 8 Wahrnehmung der Lernenden zum Unterrichtsmodul über grüne Pestizide (n=95)	29
Abbildung 9 Mittelwerte der Spinnendiagramme (n(Glyphosat)=32; n(Orangenöl)=34)	31
Abbildung 10 Übersicht Implementierung zu Phosphaten (deutsch).....	34
Abbildung 11 Übersicht Likert Items in deutschen Lerngruppe (n=47)	35
Abbildung 12 Übersicht Likert items in einer amerikanischen Lerngruppe (n=709)	36
Abbildung 13 Modell Partizipativer Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002).....	39
Abbildung 14 Visualisierung des Emanzipationsprozesses aus Perspektive lokaler Partner ..	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Potenzial der vier Modelle für das Integrieren nachhaltigkeitsbezogener Themen in den Chemieunterricht (-=gering; o=mittel, +=hoch, ++=sehr hoch) (Burmeister et al., 2012) .	7
Tabelle 2 Mögliche neue Unterrichtsthemen ausgehend von den SDGs und planetaren Belastungsgrenzen.....	13
Tabelle 3 Anwendung der Kriterien für SSI (nach Stolz et al., 2013)	14
Tabelle 4 Kernkategorien resultierend aus der explorativen Interviewstudie.....	17
Tabelle 5 Überblick der Stichprobe (Naturwissenschaften = Biologie; Physik; keine Naturwissenschaften≠ Geographie).....	17
Tabelle 6 Überblick der codierten Themen bei denen Chemielehrkräfte (potentiell) eine geographische Perspektive benannten (fett: Subkategorie des 1. Level / kursiv: Subkategorie des 2. Level; L= Anzahl der Lehrkräfte; GC= Gesamtcodierungen).....	18

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BnE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
DGfG	Deutsche Gesellschaft für Geographie
DPP	Deutsche Phosphor Plattform
DUK	Deutsche UNESCO Kommission e.V.
EC	European Commission (Europäische Kommission)
ESD	Education for Sustainable Development
EU	Europäische Union
GC	Green Chemistry
HARTS	Humanities, ARTs, and Socials Sciences
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KMK	Kultusministerkonferenz
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
SDG(s)	Sustainable Development Goal(s)
SSI(s)	Socio-Scientific Issues bzw. Socioscientific Issues
SSI-TL	Socio-scientific teaching learning
SSR	Socio-Scientific Reasoning
STEPWISE	Science & Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies & Environments
STS(E)	Science, Technology, Society(, Environment)
USGS	United States Geological Survey
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USA	United States of America
WCED	World Commission on Environment and Development
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen

1. Einleitung

Unser Wachstum hat Grenzen. Dies scheint seit den 1970er Jahren deutlich zu sein (Meadows, Meadows, Randers & Behrens, 1972). Ein Blick in die aktuelle Medienlandschaft zeigt nicht nur den scheinbar allgegenwärtigen Klimawandel als Folge menschlicher Eingriffe, sondern ebenfalls krisenhafte Ausmaße, wenn es u.a. um neuartige Chemikalien in der Umwelt geht. Viele menschenbeeinflusste Indikatoren scheinen sich seit den 1950er rasant entwickelt zu haben, wie Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney & Ludwig (2015a) aufzeigten. Die gewählten Indikatoren fokussieren neben dem Kohlenstoffdioxidausstoß ebenso das Bevölkerungswachstum oder den Anstieg der Telekommunikation. Die Idee, dass der Mensch die Umwelt aktiv beeinflusst, führte zu Vorschlägen das aktuelle Erdzeitalter in Anthropozän umzubenennen (Crutzen & Stoermer, 2000). Im selben Tenor muss gefragt werden, inwieweit der Mensch die Tragfähigkeit der Erde noch ausnutzen kann. Hierzu geben Steffen et al. (2015b) neun Variablen an, welche genau diese Grenzen aufzeigen: die planetaren Leitplanken oder auch Belastungsgrenzen. Auch in der Naturwissenschaftsdidaktik sind Begriffe wie die „*Erde in der Krise*“ (Bybee, 1991) oder „*planetare Notfälle*“ (Vilches & Gil-Pérez, 2013) bereits vorgekommen, wobei die Frage stets ist, wie die (Chemie-)Didaktik damit umgeht. Eine Antwort hierauf ist eine nachhaltige Entwicklung, bei der die Menschheit heute nach ihren Bedürfnissen leben soll, ohne dass zukünftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht mehr stillen können (WCED, 1987). Für eine solche Entwicklung ist die Chemie unabdingbar, da sie selbst neue Lösungen zu bekannten Problemen entwickeln kann (Matlin, Mehta, Hopf & Krief, 2015). Chemisches Wissen ist für die Entwicklung moderner Gesellschaften sowie verantwortungsbewusster Menschen wichtig (Roth & Lee, 2004; Elmore & Roth, 2005), wobei das Schulfach Chemie jedoch oft als unbeliebt und schwierig wahrgenommen wird (Jenkins & Nelson, 2005; Osborne & Dillon, 2008). Begründet wird dies mit mangelnder Relevanz (Osborne, 2003), zu deren Steigerung der Einbezug einer sozial-gesellschaftlichen Dimension vorgeschlagen wird (Hofstein, Eilks & Bybee, 2011). Hierfür ist der Einbezug des Faches Geographie womöglich geeignet. Um dies aufzuzeigen soll in der vorliegenden Arbeit zunächst nachhaltige Entwicklung beschrieben sowie das Konzept planetarer Leitplanken erörtert werden. Daraufhin soll der Bezug zu Chemie und Geographie aufgezeigt und die Perspektive von Lehrkräften dargestellt werden, um dann drei Fallstudien zu beschreiben, die diesen Einbezug direkter oder indirekter nutzen. Abschließend soll der Entwicklungsprozess mittels partizipativer Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002) skizziert und der Wissenstransfer über Ländergrenzen beschrieben werden. Schließlich werden Schlussfolgerungen gezogen und weiteres Potential in einem Ausblick benannt.

2. Theoretischer Überblick

Im Laufe des 20. Jahrhunderts haben verschiedenste Institutionen, wie der *Club of Rome* (Meadows et al. 1972), die *World Commission on Environment and Development* (WCED, 1987) oder der *Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen* (WBGU, 2011) Grenzen des menschlichen Wachstums ausgemacht und entsprechende Reaktionen vorgeschlagen. Andere Autoren wie Schellnhuber (1999), Crutzen (2002), Monastersky (2015) oder Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney & Ludwig (2015a), bzw. für die Naturwissenschaftsdidaktik Bybee (1991), Vilches & Gil-Pérez (2013) oder Mahaffy, Krief, Hopf, Mehta & Matlin (2018) benennen krisenhafte Zustände oder zeigen auf, wie die Welt sich verändert, und versuchen Antworten zu finden, bzw. zu erörtern, wie die Didaktik damit umgehen soll(te). Diskussionen dieser Art führen mittlerweile so weit, dass Vorschläge existieren, das aktuelle Erdzeitalter - das knapp 12000 Jahre alte, postglaziale Holozän - durch ein neues Erdzeitalter, das Anthropozän, abzulösen, um den menschlichen Einfluss auf das Erdsystem zu verdeutlichen (Crutzen & Stoermer, 2000). Heutzutage findet diese Diskussion auch innerhalb der Geologie statt, welche aktiv über einen (potentiellen) Beginn dieser Epoche diskutiert. Crutzen (2002) schlug das späte 18. Jahrhundert vor und verknüpfte diesen Beginn mit dem anthropogenen Klimawandel, was nach Ergebnissen des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2018) sicherlich möglich ist. Andere denkbare Anfänge beschreiben Lewis & Maslin (2015; Überblick 175) oder Waters et al. (2016). Erstere favorisieren den *Orbis Spike* im Jahr 1610, während letztere den Start dieses Zeitalters für Mitte des 20. Jahrhunderts festlegen würden, was bspw. durch den Trinity Atombombentest gekennzeichnet wäre (Alamogordo, New Mexico am 16.07.1945). Leinfelder & Niebert (2018) sehen das Anthropozän als starkes Konzept für die Politik (deutsche Übersicht: Leinfelder, 2018). Natürlich kommt es hierbei zu kritischen Auffassungen, wie dem Hinterfragen der Arroganz des Menschen, sich als so mächtig im Kontrast zu natürlichen Kräften wahrzunehmen (Malm & Hornborg, 2014) oder der Überflüssigkeit dieser Diskussion, da Forschung bereits aktuelle Probleme forciert – unabhängig ihres Namens (Gebhardt, 2016). Einhergehend mit dem Konzept des Anthropozäns ist die Forderung nach einer nachhaltigeren Entwicklung, um dem menschlichen Einfluss Herr zu werden und negative Einflüsse zu mindern bzw. zu lindern.

2.1 Nachhaltige Entwicklung in planetaren Belastungsgrenzen

Der Begriff der Nachhaltigkeit wurde bereits vielfach beschrieben (Hawkes, 2001; Pufé, 2014; Bedehäsing & Padberg, 2017). Ursprünglich aus der Forstwirtschaft kommend und für

Beständigkeit des Waldbestandes stehend, lautet der Leitgedanke: Rode nur so viele Bäume, wie nachwachsen können. Dieser Kerngedanke ist gegenwärtig, doch hat sich der Begriff breiter aufgestellt und steht im engen Kontakt mit dem Tragfähigkeitsgedanken dieser Erde (Meadows et al., 1972). Die wohl bekannteste Definition stammt aus dem Brundtland-Bericht (WCED, 1987) und besagt, dass eine Befriedigung aktueller Bedürfnisse nicht auf Kosten zukünftiger Generationen stattfinden soll. Diese Diskussion ist geprägt von den drei Säulen der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit, wie in der *Agenda 21* niedergelegt (UNCED, 1992). Obgleich Ideen über neue Säulen oder Dimensionen der Nachhaltigkeit aufkamen, wie eine kulturelle (Hawkes, 2001) oder eine politische (Engagement Global, 2016), wird sich zumeist auf die drei genannten fokussiert, welche auch in der *Agenda 2030: Transforming our future* in einer ausgeglichenen, balancierten Sicht angesprochen werden (UN, 2015) (Abb. 1 A). In der Realität, wie bspw. Leinfelder (2018) angibt, kommt es zu einer Verzerrung und somit zu einer Mickey-Mouse-Nachhaltigkeit (Abb. 1 B), bei welcher ökonomische Aspekte höher gewichtet werden und ökologische und soziale Aspekte verdrängen. Alternativ kann nachhaltige Entwicklung verstanden werden „als ein Wirtschaften, das der Erfüllung sozialer Bedürfnisse dient und innerhalb der planetaren Belastungsgrenzen stattfindet“ (Müller & Niebert, 2017; 65); dies wird in Abbildung 1 C dargestellt (Griggs et al., 2013) und kann konkret als ressourcenschonender Umgang mit der Welt gesehen werden (Bedehäsing & Padberg, 2017). Man kann kritisch hervorheben, dass eine Gleichwertigkeit angenommen wird, was real nicht der Fall sein muss, wodurch Kompromisslösungen notwendig werden würden (Engagement Global, 2016).

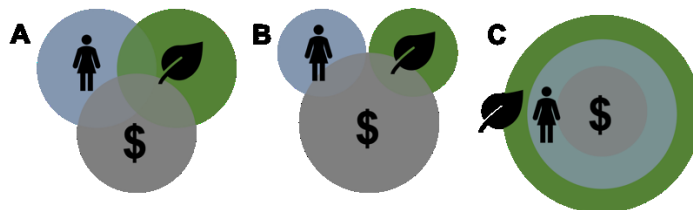


Abbildung 1 Verschiedene Konzepte der Nachhaltigkeit (nach Leinfelder 2018)

Die 2015 verabschiedete Agenda 2030 griff die Millenniumsentwicklungsziele (2000) auf und formulierte die *Sustainable Development Goals (SDGs)*, welche bis 2030 erreicht werden sollen. Hierbei gab die UN an, dass globale Probleme nur gemeinschaftlich lösbar seien und fokussierte sich in der Präambel auf die fünf Kernpunkte Menschen, Planet, Wohlstand, Frieden und Partnerschaften, welche sich als Leitlinien durch die SDGs ziehen (UN, 2015). Ein detaillierter politischer Überblick findet sich bei Michelsen (2015).

Verbunden mit den verschiedenen Konzepten der Nachhaltigkeit, insbesondere Modell C und dem Anthropozändiskurs, drängt sich die Frage auf, wann potentielle Grenzen für das System Erde überschritten werden. Hierzu kann das Konzept der planetaren Leitplanken nach

Rockström et al. (2009) bzw. Steffen et al. (2015b) verwendet werden, welches einen „*safe corridor*“ für die Menschheit aufzeigt, in dem sich das Leben entwickeln kann, ohne irreversible Schäden am Erdsystem hervorzurufen. Neun Leitplanken wurden definiert (Abb. 2 für 1990 und 2015), wie bspw. Klimawandel oder Ozonabbau. Die planetare Leitplanke wird durch den blauen inneren Kreis begrenzt, bei dessen Übertreten das Risiko für irreversible Schäden am Erdsystem steigt (gelb und rot). Jeder planetaren Leitplanke wurden Kontrollvariablen zugeordnet, um ein Überschreiten messbar zu machen, wie der Kohlenstoffdioxidgehalt der Atmosphäre für den Klimawandel. Fragezeichen kennzeichnen Leitplanken bei denen Variablen bisher nicht definiert wurden. Beim Vergleich der Jahre 1990 und 2015 fällt eine allgemeine negative Entwicklung auf - mit Ausnahme des Ozonabbaus. Dies zeigt, dass die als irreversibel angenommenen Änderungen scheinbar doch nicht vollständig irreversibel sind. So hat die Menschheit es durch das Verbot der Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe 1987 (Montreal-Abkommen) geschafft, diesen Wert rückläufig werden zu lassen. Raworth (2017) erweiterte dieses Modell um soziale Leitplanken in ihrem Doughnut-Modell, welches Themen wie Bildung oder Energieversorgung einschließt und somit einen ganzheitlicheren Blick darstellt.

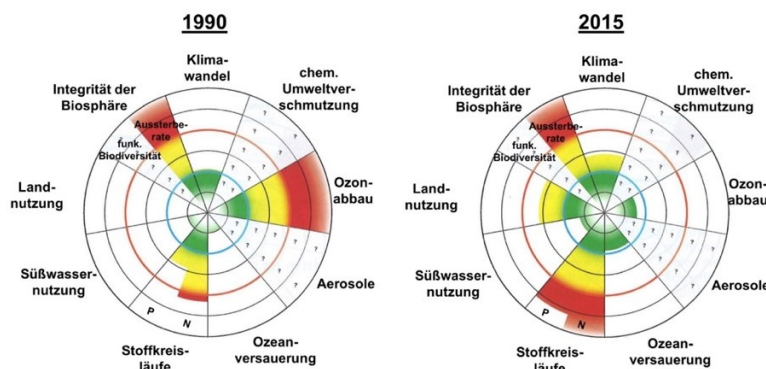


Abbildung 2 Planetare Belastungsgrenzen (? = Kontrollwerte bislang nicht definiert; Müller und Niebert, 2017) Der Wandel hin zu einer nachhaltigeren Welt wurde 2011 durch den WBGU thematisiert, welcher diese Aufgabe als eine große Transformation bezeichnete, wie sie bisher nur bei der neolithischen und der industriellen Revolution vorkam. Hierfür schlugen sie einen Weltgesellschaftsvertrag vor, welcher den gestaltenden Staat sowie das Individuum in der Verantwortung sieht; ob dies jedoch gelingen kann, wird durchaus kritisch gesehen (Bergmüller & Schwarz, 2016; auch für eine Diskussion des Ansatzes). Singer-Brodowski (2016) gibt zu bedenken, dass der Ansatz erziehungswissenschaftlich schwach fundiert sei und eine Gefahr zur Instrumentalisierung der Lernenden aufweist, obgleich Perspektiven eines solchen transformativen Lernens in seiner Gesamtheit bereichernd sein können.

Grundsätzlich kommt bei einem solchen Wandel der Bildung eine wichtige Rolle zu, wie sie bereits 1992 als Bestandteil der *Agenda 21* verankert wurde (UNCED, 1992; Kapitel 36). Diese Bildung für nachhaltige Entwicklung (BnE; englisch: *Education for Sustainable Development*; ESD) will Wissen vermitteln, aber auch Handlungsoptionen aufzeigen – ohne dabei in Indoktrination zu verfallen. Hierfür gab es von 2005-2014 eine UN-Weltdekade BnE, die sowohl Begriffe schärfen als auch das Thema selbst verankern sollte, was laut Michelsen (2013) jedoch nicht vollständig gelang, sodass BnE nicht als „Mainstream“ bezeichnet werden kann, obgleich zahlreiche Projekte (wie Transfer-21) etabliert wurden. Folgend wurde durch die UNESCO ein Weltaktionsprogramm BnE (2015-2019) ausgerufen (DUK, 2014), welches vergleichbare Ziele aufweist und durch eine Roadmap unterstützt wird. Diese arbeitet in vier Dimensionen: Lerninhalt, integrieren von Themen der Nachhaltigkeitsdebatte in Lehrpläne, Pädagogik und Lernumgebungen interaktiv, forschend, aktionsorientiert und transformativ gestalten, Lernergebnisse nutzen, die sich auf kritisches und systemisches Denken beziehen und Kollaboration setzen sowie das Individuum in die Lage zu versetzen eine gesellschaftliche Transformation zu gestalten. In einem Bericht der KMK (2017) wurde aufgezeigt, was jedes Fach hierzu leisten kann und zukünftig tun soll, wobei Brock (2017) angibt, dass nur wenige Fächer dies bereits in ihren KMK-Standards verankert haben.

Auch in den neueren Ansätzen der UN finden sich entsprechende Verweise auf BnE; so ist SDG 4 *Hochwertige Bildung* und besagt u.a., dass bis 2030 sichergestellt werden soll, „*dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben*“ (UN, 2015). Hierfür beschreibt die UNESCO (2017) Lernziele in drei Ebenen (kognitiv, sozio-emotional und handlungsorientiert), wobei Lernende als wichtige, den Wandel aktiv einleitende *Change Agents* verstanden werden. In Deutschland versteht sich der Orientierungsrahmen Globale Entwicklung (Engagement Global, 2016; 18) als Beitrag des Weltaktionsprogramms, wobei Leitideen wie die Fähigkeit zur Perspektivübernahme, der Umgang mit Vielfalt oder das Leitbild nachhaltiger Entwicklung forciert werden. Gemein ist dabei allen Papieren die Orientierung an Schlüsselkompetenzen, welche immer wieder verschieden verstanden werden. Rieckmann (2018) gibt einen Überblick unterschiedlicher Konzepte sowie eine Synthese dieser. Im deutschsprachigen Raum ist vor allem das Konzept der Gestaltungskompetenz bekannt (de Haan et al., 2008). Hierbei soll das Individuum in die Lage versetzt werden, die Gegenwart und Zukunft im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu gestalten. Auffällig ist, dass groß angelegte Leistungsstudien wie PISA das Thema der SDGs oder der vorherigen Millenniumentwicklungsziele vermeiden (Sjøberg, 2019), obgleich es Vorschläge gibt, die Themen rund um das Anthropozän und/oder die planetaren Leitplanken in

das unterrichtliche Geschehen zu implementieren – national (Niebert, 2016; Müller & Niebert, 2017) und international (Mahaffy, 2014). Bezüglich planetarer Leitplanken sind Lernende in der Lage die Veränderungen durch den Menschen zu erkennen, zweifeln jedoch an, dass Veränderungen behoben werden und blicken eher pessimistisch in die Zukunft (Lampert & Niebert, 2018).

2.2 Nachhaltigkeit, Chemie & Geographie

Die bislang dargelegten Überlegungen lassen sich leicht mit der Chemie und Geographie verknüpfen, was im Folgenden aufgezeigt werden soll. Zunächst stehen hier Umweltaspekte im Fokus, wobei neun von zehn Europäern angeben, dass der Schutz der Umwelt sehr wichtig sei (TNS opinion & social, 2017). Blickt man in die Medienlandschaft der letzten Jahrzehnte, entdeckt man zahlreiche Verbindungen der Chemie zu Umweltschäden, wie Ölkatastrophen, der Diskussion um Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe oder um Glyphosat. Hieraus schließend scheinen Chemie und Umweltschutz nicht viel gemein zu haben, sondern die Chemie bewirkt auf den ersten Blick eher das Gegenteil. Rein aus einer fachlichen Perspektive betrachtet gibt es seit den 1990ern eine Bewegung, welche sich für eine umweltfreundlichere und sicherere Chemie einsetzt, was als *green chemistry* in den USA (Anastas & Warner, 1998) bzw. auch als *sustainable chemistry* in Europa (Eilks & Zuin, 2018) bekannt wurde. Auch der jüngst erschienenen *Global Chemicals Outlook II* zielt darauf ab, Gefahren und Abfälle weiter zu minimieren, wobei auf der anderen Seite klar hervorgehoben werden muss, wie wichtig die chemische Industrie aus wirtschaftlicher Perspektive ist. Ebenso wird die Bedeutung einer *sustainable chemistry education* hervorgehoben (UNEP, 2019). *Green chemistry* mit ihren Prinzipien stellt ein wichtiges Fundament für eine nachhaltige Chemie dar, wobei einige Forschende *green chemistry* und *sustainable chemistry* auch synonym verstehen – *green chemistry* allein vermag aber nicht zu einer nachhaltigen Zivilisation zu verhelfen (Anastas & Zimmermann, 2018). Trotz dieser starken Verbindung sind Nachhaltigkeitsgedanken in Curricula der Chemie rar (Burmeister et al., 2012; Vilches & Gil-Pérez, 2013; Jegstad & Sinnes, 2015), obwohl die Verbindung von Chemie und Nachhaltigkeit für den Unterricht oft hervorgehoben wurde (Burmeister, Rauch & Eilks, 2012; Juntunen & Aksela, 2014; Vilches & Gil-Pérez, 2013; Eilks & Rauch, 2012). Um einen Wandel hin zu einer nachhaltigeren Welt zu schaffen, ist naturwissenschaftliches Wissen wichtig, welches einen ganzheitlicheren Blick schärft (Adams et al., 2018). Dies gilt insbesondere für Chemie aufgrund ihrer Bedeutung für die Erfüllung der SDGs, als auch grundsätzlicher für einen Wandel hin zu einer nachhaltigeren Zukunft (Matlin et al., 2015; Mahaffy et al., 2018; Anastas & Zimmermann, 2018; Eilks & Zuin, 2018). Für einen eben solchen Wandel müssen Lehrkräfte jedoch Unterstützung

bekommen, geeignete Themen in ihren Unterricht zu integrieren und den Inhalt für Lernende flexibel zu gestalten (Juntunen & Aksela, 2014). Wichtig ist, dass eine alleinige Beschränkung der Themen auf eine ökologische Perspektive nicht im Sinne der Debatte ist. Nachhaltigkeitsthemen haben eine hohe Relevanz (Stuckey, Hofstein, Mamlok-Naaman & Eilks, 2013) bei einem inhärenten Bildungswert, sodass stets neben dem Ökologischen auch das Soziale und das Ökonomische Betrachtung finden sollte (Eilks & Hofstein, 2014). Ebenfalls kritisch anzumerken ist, dass die Verantwortung für die Behandlung von Nachhaltigkeitsdebatten nicht an andere Fächer verwiesen werden kann, da die KMK (2017) zum einen BnE als Querschnittsaufgabe ansieht und zum anderen Themen der Nachhaltigkeitsdebatte teilweise nicht umfassend ohne die Chemie betrachtet werden können (Marks, Stuckey & Eilks, 2014). Dies resultiert in Forderungen nach einem ganzheitlicheren Unterricht (Vilches & Gil-Pérez, 2013). Modelle für das Integrieren von Nachhaltigkeit in den Chemieunterricht existieren bereits (Jegstad & Sinnes, 2015) oder wie Niebert (2016) es für einen naturwissenschaftlichen Unterricht zeigte. Der Fokus in dieser Arbeit liegt auf den vier von Burmeister, Rauch & Eilks (2012) publizierten Modellen: (1) Prinzipien von *green chemistry* im Schullabor, (2) Thematischer Bezug zur Nachhaltigen Chemie kontextualisiert für das Lernen chemischer Inhalte/Konzepte, (3) Betrachtung (chemie-)relevanter Themen der Nachhaltigkeitsdebatte, (4) BnE als Element von Schulentwicklung (Tab.1).

Tabelle 1 Potenzial der vier Modelle für das Integrieren nachhaltigkeitsbezogener Themen in den Chemieunterricht (-=gering; o=mittel, +=hoch, ++=sehr hoch) (Burmeister et al., 2012)

Potenzial für ...	1	2	3	4
... Lernen <i>über</i> nachhaltige Chemie.	o	++	++	+
... Lernen <i>für eine</i> nachhaltige Entwicklung.	-	-	++	++
... <i>direkter Beitrag</i> für nachhaltige Entwicklung.	o	-	-	+

Positiv hervorzuheben ist, dass die Standards des Faches Chemie erste Hinweise liefern, wie BnE im Unterricht zu integrieren ist (Brock, 2017). Sie weist jedoch auch ein Fach aus, das deutliche Bezüge zur Nachhaltigkeit enthält: Geographie. Dieser Eindruck zeigt sich auch, wenn man sich verschiedene Lehrpläne der Bundesländer oder Schulbücher anschaut (Zowada, Mönter & Eilks, 2019).

Geographie ist ein Fach bzw. eine Wissenschaft, der oftmals der Stadt-Land-Fluss Charakter anhaftet, was ihre vermeintliche topographische Fixiertheit andeutet (Gans & Hemmer, 2015). Gebhardt et al. (2011; 3) geben jedoch an, dass Geographie verstanden wird als „eine Wissenschaft, die Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt in einer vernetzten, integrativen Perspektive in den Blick nimmt“. Der klare Bezug zur Nachhaltigkeit ist dieser Definition immanent - auch in den Standards, die in Ermangelung von KMK-Standards (wie im Fach Chemie; KMK, 2004) durch die deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG) herausgegeben

werden und angeben, dass das Schulfach Geographie BnE „*besonders verpflichtet*“ ist (DGfG, 2017; 7). Grindsted (2015) gibt an, dass Geographie durch seine Mensch-Umwelt Interaktion großes Interesse an der Umsetzung von BnE hat, wobei vor allem die „*spatio-temporal dimensions of sustainability*“ (ebd.; 13) nach der Geographie verlangen. Neue Entwicklungen, wie die planetaren Leitplanken, sollen und können durch das Fach Geographie behandelt werden (Bedehäsing & Padberg, 2017). BnE ist also Teil des Geographieunterrichts, wobei natürlich auch Fachgrenzen überschritten werden sollen, wie Joppich & Uhlenwinkel (2017) hervorheben. Ermöglicht wird dies durch ein Bild der Geographie, welches eben nicht auf Topographie fixiert ist, sondern auf drei Säulen fußt (Weichhart, 2003). Diese drei Säulen sind die physische Geographie (eher naturwissenschaftliche Perspektive), die Humangeographie (eher sozialwissenschaftliche, wirtschaftliche Perspektive) sowie die Gesellschaft-Umwelt-Forschung mit einer gemischten Perspektive und Fragestellungen, die so in den anderen Säulen nicht vorkommen (Otto, 2015a; Abb.3).

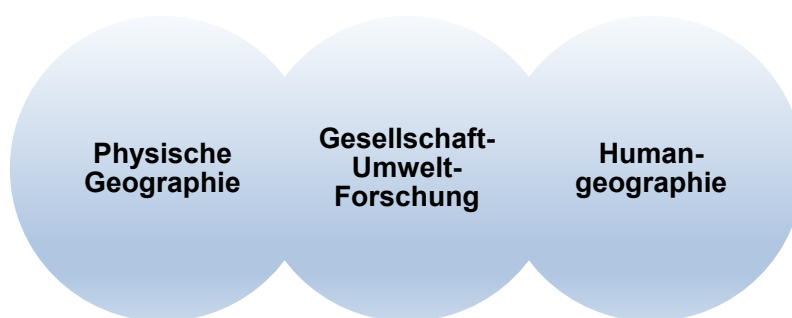


Abbildung 3 Drei-Säulen-Modell der Geographie (Weichhart, 2003)

Der Geographie wurde in der Vergangenheit ein brückenhafter Charakter zugesprochen, was allerdings aufgrund auseinanderdiffundierender Kernfelder als obsolet ansehbar ist (Mönter, 2011) – vertiefend zur Disziplingeschichte siehe Schultz (2015). Obgleich die Brückenfachmetapher veraltet sein mag, ist die Geographie „*das Fach, das naturwissenschaftliche und gesellschaftswissenschaftliche Kenntnisse/Perspektiven verbindet*“ (Otto, 2015a; 8). Vorteil der Säulen ist, dass diese zwar immer in ihrer Gesamtheit und Überschneidung betrachtet werden können, dies aber nicht zwanghaft geschehen muss. Geographie als Fach kann zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung beitragen, wofür es verstärkt auf exakte Terminologien und methodisches Vorgehen ankommt (Otto, 2015a, b; Lethmate, 2012). Dabei ist die experimentelle Arbeit im Geographieunterricht zwar eher selten, obgleich die Bedeutung insbesondere unter methodologischen Aspekten als hoch eingeschätzt wird (Wilhelmi, 2012; Mönter & Otto, 2017). Gemeinhin wird das Experiment den klassisch naturwissenschaftlichen Fächern zugeordnet, findet sich jedoch auch in der Geographie und weist insbesondere zwei Stärken auf - „*das inhaltlich-thematische Spektrum*“ und „*den Kontext des experimentellen Arbeitens*“ (Otto, Mönter, Hof & Wirth, 2010; 137). Ersteres verdankt es

der thematischen Breite durch die einbeziehenden (Sub-)Disziplinen wie Geologie oder Meteorologie. Weiteres kann auf den Umstand zurückgeführt werden, dass Experimente im Geographieunterricht immer auf gesellschaftsrelevante Phänomene bzw. Probleme rekurren und eingebettet sind in die Betrachtung von Wechselwirkungen im Mensch-Umwelt-System. Die Nachhaltigkeitsdebatte gibt einen fruchtbaren Nährboden für neue Themen und ermöglicht deren breite Behandlung.

Mahaffy und Kollegen (2018) stellen jüngst für einen zukunftsorientierten Chemieunterricht das *systems thinking* heraus. Auch wenn dies nicht der Fokus dieser Arbeit ist, soll hier nicht unerwähnt bleiben, dass ein empirisch erarbeitetes Systemkompetenzmodell in der Geographie existiert (Mehren, Rempfler, Ullrich-Riedhammer, Buchholz & Hartig, 2016) und das Systemkonzept auch als Hauptbegriffkonzept der Geographie angesehen wird (DGfG, 2017; 10). Das Systemdenken findet sich in der englischsprachigen Literatur in Publikationen aus der *earth science education* (Orion & Libarkin, 2014), was der physischen Geographie nahesteht.

2.3 Socioscientific issues

Um beide Fächer zu verbinden, kann auf das Konzept der *socioscientific issues* (SSIs) zurückgegriffen werden, was folgend gezeigt werden soll. Verbindungen zwischen der Nachhaltigkeitsdebatte, der Chemiedidaktik und SSIs lassen sich zahlreich finden (bspw. Tytler, 2012 oder Simonneaux & Simonneaux, 2012), sodass folgend kein vollständiger Überblick gegeben werden kann; siehe hierfür Zeidler (2014), Levinson (2013), Sadler (2004, 2009, 2011a) oder Ratcliffe & Grace (2003).

Eine Verknüpfung ergibt sich bspw. aus dem dritten Vorschlag des von Burmeister et al. (2012) entwickelten Modells. Dabei versteht Zeidler (2015; 998) unter SSIs „*controversial and ill-structured problems that require scientific evidence-based reasoning to inform decisions...*“, wobei Lernende mit Themen in Kontakt kommen sollen, „*that are personally relevant to them, as well as relevant to societal and global world views*“. Ratcliffe & Grace (2003; 2f) nennen Merkmale wie: Grundlegend naturwissenschaftlich, Meinungsbildung und treffen von Entscheidungen in globalem oder persönlichem Maßstab, Medienpräsenz, Abwägung verschiedener Faktoren wie Kosten und Risiken, Lernende müssen mit unvollständigen Informationen umgehen, Thematisierung von lokalen, nationalen und/oder globalen Dimensionen, sind häufig nur vorübergehend aktuell, können eine nachhaltige Entwicklung betreffen oder inkludieren auch ethische oder moralische Fragen. Grundsätzlich verfolgen SSI-orientierte Ansätze die Grundauffassung, dass naturwissenschaftlicher Unterricht über das Erlernen von rein naturwissenschaftlichem (chemischem) Fachwissen hinausgehen und bspw. ein Lernen über Naturwissenschaften (Chemie) und überfachliche Kompetenzen inkludieren

sollte (Sjöström, 2013). Forschende wie Hofstein et al. (2011) oder Holbrook & Rannikmäe (2007) geben an, dass diese Art von Unterricht Lernenden hilft zukünftig verantwortungsbewusste, rücksichtsvolle Menschen zu sein. Ziel solcher Ansätze ist, dass Lernende in der Lage sind informierte Entscheidungen zu treffen, was angesichts einer komplexer werdenden Welt schwierig ist und auch schwieriger wird (Elmose & Roth, 2005; Roth & Lee, 2004), wobei Unterrichtsvorschläge in der Regel mit sozialen Dilemmata oder kontroversen Ausgangssituationen beginnen, die einen Bezug zu Naturwissenschaften aufweisen (Sadler, 2004). Um dies besser zu verstehen, kann eine von Sadler (2011b; 1) aufgeworfene Frage genutzt werden: *“What should be the goal of science education?”*. Hierauf ist seine Antwort die Vorbereitung der Lernenden auf die Zukunft, wofür das wichtigste Ziel nicht zwingend der „pure“ naturwissenschaftliche Inhalt ist. Grundsätzliche Ziele von SSI-basierten Ansätzen sind eine höhere Motivation und ein gesteigertes Interesse der Lernenden, wie sie des Öfteren beschrieben wurden (Osborne, 2003; Holbrook & Rannikmäe, 2007) und wie es bspw. Ottander & Ekborg (2012) zeigten. SSIs führen zu Diskussionen über naturwissenschaftliche Anwendungen (Sadler, 2004), wobei in der fachdidaktischen Forschung viele Aspekte dieser untersucht werden und wurden, wie das Treffen von Entscheidungen (Kolstø, 2001) oder wie Argumente formuliert werden (Wu & Tsai, 2007; Romine, Sadler & Kinslow, 2017). Zeidler (2015; 1001) fasste potentielle positive Ergebnisse zusammen, beispielsweise ein besseres Verständnis der Natur der Naturwissenschaften oder ein verbesserter Wissenstransfer sowie Argumentationsfähigkeiten.

Ein SSI-Ansatz kann dabei von anderen Ansätzen abgegrenzt werden, wie *science, technology and society* (STS). Diese Bewegung, welche heute eher als STSE (*environment*) bezeichnet wird (Pedretti & Nazir, 2015), entstand in den späten 1970er/Anfang 1980er Jahre aufgrund sich verändernder gesellschaftlicher Ansprüche an naturwissenschaftlichen Unterricht (Aikenhead, 2003). Hier geben Zeidler & Nichols (2009) an, dass der SSI-Ansatz *„above and beyond“* geht, da SSI alles mit einbezieht, was unter STS verstanden wird, aber um eine ethische Dimension erweitert wird, ebenso wie um den Einbezug moralisch besetzter Argumente oder der Betrachtung der emotionalen Entwicklung der Lernenden (Zeidler, Walker, Acket & Simmons, 2002). Weiterhin können Abgrenzungen zu kontextbasierten Unterrichtsvorschlägen wie *Chemie im Kontext* (Parchmann, Paschmann, Huntemann, Demuth & Ralle, 2001) (international als *context-based learning*; weiterführend und aktuell bspw.: Habig et al., 2018) angeführt werden. Während *Chemie im Kontext* in der Regel mit einem chemischen Inhalt beginnt, der vermittelt werden soll, gehen SSI von einem Kontext aus und prüfen dann, welches

Wissen zur Klärung nötig ist. Grundsätzlich sind beide Ansätze aber nicht trennscharf (Eilks, Marks & Stuckey, 2016).

Heute wird weltweit versucht, SSI-orientierte Ansätze umzusetzen, wodurch verschiedene Modelle und Ideen entstanden sind. Ein Ansatz ist das STEPWISE Projekt (*Science & Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies & Environments*) (Bencze, 2019), welches bspw. darauf abzielte, verschiedene Lernumgebungen mit PREZI zu gestalten (Hoeg et al., 2017). Weitere Modelle sind das HARTS-Modell (Kahn & Zeidler, 2016; *Humanities, ARTs, and Socials Sciences*), welches Humanwissenschaften und Kunst mit einbezieht oder das SSI-TL (*socio-scientific teaching learning*) Modell von Sadler, Foulk & Friedrichsen (2017). Relevant im deutschsprachigen Raum und für diese Arbeit ist das Modell des gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterrichts (Marks & Eilks, 2009; Abb.4), welches vielfach verwendet wurde, um Themen wie Bioethanol (Feierabend & Eilks, 2011), Tätowierungen (Stuckey & Eilks, 2014), Duschgels oder Moschusduftstoffe (Marks & Eilks, 2010) in den Unterricht zu integrieren. Aus diesem Modell lassen sich Ziele, Abläufe und methodische Konsequenzen für den Unterricht direkt ableiten; so beginnt dieser Unterricht bspw. mit der (partiellen) Analyse einer Kontroverse oder eines Problems und nicht bei einem rein-innerfachlichen Thema.

Konzept des gesellschaftskritisch-problemorientierten NW-Unterrichts			
Ziele	Kriterien für die Themenwahl	Methodische Konsequenzen für die Umsetzung	Struktur der Unterrichtseinheit
Allgemeinbildung/ "education through science"	Authentizität	Authentische Alltagsmedien	1. Zugang und Analyse der Kontroverse
(Multidimensional) Scientific Literacy	Relevanz	Schülerorientiertes und experimentelles Lernen	2. Fachliche Klärung unter Einbezug experimenteller Arbeit
Förderung von Bewertungskompetenz	Bewertungslage offen in Bezug auf gesellschaftlich relevante Fragen	Schülerzentrierte und kooperative Lernformen	3. Wiederaufgreifen der kontroversen Problemlage
Förderung von Kommunikationskompetenz	Offene Diskutierbarkeit	Methoden zur Strukturierung kontroverser Debatten	4. Erarbeitung und Diskussion verschiedener Perspektiven
Naturwissenschaftliche Kenntnisse & Fähigkeiten erlernen	Fragestellung mit Bezug zu Naturwissenschaft und Technik	Methoden zur Provokation und Explikation individueller Meinung	5. Metareflexion

Abbildung 4 Modell des gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterrichts (Marks & Eilks, 2009)

Basierend auf diesem Modell lassen sich fünf Kriterien (dritte Säule v.l., Abb. 5) für SSI-orientierte Themen beschreiben (Stolz, Witteck, Marks & Eilks, 2013): Authentizität, Relevanz, offene Bewertungslage und Diskutierbarkeit sowie ein Bezug zu Naturwissenschaften und Technik. Folglich muss ein Thema medial präsent sein und gesellschaftlich diskutiert werden, wobei gesellschaftliche Entscheidungen mit direktem oder indirektem Einfluss auf die

Lernenden bevorstehen sollten. Zudem weisen diese Themen eine offene Bewertungslage sowie offene Diskutierbarkeit auf, was sich darin zeigt, dass verschiedene Positionen öffentlich einnehmbar sind. Letztlich muss auch medial ein Bezug zu Naturwissenschaften und Technik bestehen. Simonneaux (2014) teilt solche Themen auf einer Skala von *cold* zu *hot* ein, wo bei „steigender Temperatur“ bspw. der interdisziplinäre Charakter zunimmt.

Im Kontext der SSIs und unter Berücksichtigung der Prämissen dieser Arbeit lassen sich Bezüge zu einer naturwissenschaftlichen Grundbildung schaffen, woraus sich weitere vielversprechende Anknüpfungspunkte ergeben (würden). Dies soll hier kurz erwähnt werden. Verbunden mit der Frage, welches Wissen Lernende brauchen, um die Herausforderungen der Zukunft bestreiten zu können, ist die naturwissenschaftliche Grundbildung bzw. *scientific literacy* wichtig. Hier existieren verschiedene Definitionen, wie die der OECD (Baumert et al., 2001) oder *vision I* und *II*, wie sie Roberts formulierte (bspw. Roberts & Bybee, 2014). Dabei fokussiert *vision I* das Erlernen der „puren“ Chemie, während *vision II* Lernen mit und über Kontexte und Anwendungen der Naturwissenschaften herausstellt. Diese Visionen können verstanden werden als „*pipeline science – preparing future scientists*“ und „*science for all*“ (Aikendhead, 2006) oder wie es Hoolbrook & Rannikmae (2007) formulieren „*education through science*“ anstelle von „*science through education*“. Hierbei scheint es wichtig zu sein, dass Lernende die Problemlösefähigkeit entwickeln für „*personally challenging yet meaningful scientific problems as well as making, responsible socio-scientific decisions*“ (Holbrook & Rannikmae, 2009; 286). Diese Diskussion wird oft mit der Diskussion rund um *21st Century Skills* geführt (Holbrook, 2017). Darüber hinaus existieren Ideen einer *functional scientific literacy* (Zeidler & Nichols, 2009), diese inkludiert bspw. kulturelle Faktoren oder Diskurse. In den letzten Jahren ergänzten Sjöström & Eilks (2018) eine *vision III*, welche vom Bildungskonzept beeinflusst wurde. Dieses fand Einzug in die internationale Literatur (Sjöström, Frerichs, Eilks & Zuin, 2017). Hierbei wird von vielen (Elmose & Roth, 2005; Hofstein et al. 2011) auf das Konzept der Allgemeinbildung zurückgegriffen (bspw. Klafki, 2000). Das Erwerben von Allgemeinbildung erlaubt den Lernenden hierbei „*to make informed, responsible choices in an increasingly complex world*“ (Elmose & Roth, 2005; 31).

2.4 Rationale und Überblick der Arbeit

Aus den dargestellten Ausführungen lässt sich die Frage ableiten, inwiefern der Geographie- und Chemieunterricht zusammenarbeiten und ob es sinnvoll sein kann, aus der Perspektive des Chemieunterrichts in die Geographie hineinzuschauen und zu versuchen, eine geographische Perspektive in die Chemie zu integrieren. Natürlich soll dies nicht gleichbedeutend sein mit einer Verschmelzung von Chemie- und Geographieunterricht, sondern mit einer Integration an

geeigneten Stellen, und zwar von Themen, die sich im Chemieunterricht ansiedeln, aber im Geographieunterricht erweitert werden könnten oder sogar direkt geographische Perspektiven ansprechen. In der Literatur findet sich das Erwähnen von Geographie in Unterrichtsbeispielen des Chemieunterrichts eher selten, wie bspw. bei Pietzner & Burbat (2007) zum Thema Aerosole, Hlawatsch, Parchmann & Venke (2005) zum Thema Gesteinskreislauf, Pfeifer & Sommer (2002) beim Thema Aluminium im fächerverbindenden Lernen oder Menze & Harsch (2007) in einem Unterrichtsvorschlag zu Wein; aber auch bereits Woest (1997) denkt in eine solche Richtung.

Um diese Sichtweise zu integrieren, sollen in Kapitel 3 zunächst die Vorstellungen von Lehrkräften auf die Einbindung einer solchen geographischen Perspektive in den Chemieunterricht untersucht werden. Hierfür wurde eine explorative Interviewstudie durchgeführt.

Darauffolgend werden in den Kapiteln 4, 5 und 6 drei Fallstudien vorgestellt, die eine oben beschriebene Integration explizit vollziehen oder eine starke Ausbaufähigkeit zur Geographie hin aufweisen: Fracking, Phosphatrückgewinnung und Pestizide. Tabelle 2 zeigt die Verknüpfung zu den SDGs sowie den planetaren Leitplanken, welche strukturierende Elemente der Arbeit darstellen.

Tabelle 2 Mögliche neue Unterrichtsthemen ausgehend von den SDGs und planetaren Belastungsgrenzen

Themen (Kapitel)	SDGs (Auswahl)	Belastungsgrenzen
Fracking (4.)	7 Bezahlbare und saubere Energie, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Klimawandel Chem. Umweltverschmutzung
Phosphatrückgewinnung (5.)	2 Kein Hunger, 6 Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Stoffkreisläufe Phosphor
Pestizide (6.)	2 Kein Hunger, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Chem. Umweltverschmutzung Integrität der Biosphäre

Die oben aufgeführten Zusammenhänge weisen darauf hin, dass sich SSIs dafür anbieten, eben jenes Verständnis von Nachhaltigkeit in den Unterricht einzuführen und damit auch zu einer BnE beitragen. Dabei lassen sich die in den folgenden Kapiteln der Arbeit beschriebenen Fallstudien in das Theoriegebäude der SSIs einbauen, da sie die von Stolz et al. (2013) angegebenen Kriterien erfüllen (siehe Tabelle 3) und auch der von Zeidler (2015) formulierten Definition entsprechen. Diese nennt Kontroversität und schwer strukturierbare Probleme, aufgrund des Mangels einer klar „wahren und richtigen“ Antwort. Ein Ansatz, welcher hierbei immer wieder eine Rolle spielt, ist der bereits beschriebene gesellschaftskritisch-problemorientierte Chemieunterricht. Die Grundidee ist das Gegenüberstellen von Perspektiven (hier z.B. aus Geographie, Chemie, Geologie, Medien) ohne zu werten - was der Unterricht auch nicht leisten will, um eine Indoktrination zu vermeiden und wohl auch nicht leisten kann, da hierfür eben klare „Antworten“ fehlen. Fächerübergreifende Bezüge sind für diese Art von

2. THEORETISCHER ÜBERBLICK

Unterricht charakteristisch (Marks, Stuckey & Eilks, 2014). Fächerübergreifender/-verbindender Unterricht in den Naturwissenschaften ist häufig beschrieben, wie Bahr (2004), Labudde (2014) oder Czerniak & Johnson (2014) zeigen; siehe hierfür auch Kapitel 3.

Tabelle 3 Anwendung der Kriterien für SSI (nach Stolz et al., 2013)

Kriterium	Fracking	Phosphatrückgewinnung	Pestizide
Authentizität	Der Einsatz des Frackings wird bspw. in den USA debattiert und findet sich in den Medien, wo eine breite Berichterstattung existiert.	Medienberichte weisen auf die Einstufung als kritischen Rohstoff und auf die Dramatik eines Versiegens des Rohstoffs hin.	Pestizide sind regelmäßig in Alltagsmedien zu finden, wie beispielsweise die Debatte um Glyphosat zeigt und zeigte.
Relevanz	Fracking hat einen globalen Einfluss (bspw. Klima). Diskutiert wird über den Einsatz oder eine Verlängerung von Verboten.	Phosphate sind landwirtschaftlich notwendig. Entscheidungen sind daher zu treffen, ob Investitionen zu gewollt sind und so Importeure unabhängiger zu machen.	Pestizide werden nur temporär durch die EU zugelassen. Entscheidungen sind daher auch zukünftig zu treffen.
Offene Bewertung	Befürworter und Gegner haben ihre eigenen pro und kontra Argumente aus verschiedenen Perspektiven.	Aktuell gibt es keine Entscheidung, ob der Markt und die Gesellschaft bereit sind, Kosten für das Recycling zu tragen.	In der Diskussion geht es um die Notwendigkeit des Einsatzes gegen den Schutz der Natur.
Offene Diskussion	In einer Diskussion ist eine Position für und gegen Fracking (gesellschaftlich) vertretbar.	Eine offene Diskussion ist möglich, da aktuell kein Zwang besteht in die Technologie zu investieren.	Eine Diskussion kann geführt werden zwischen einem geregelten Einsatz und einer Vermeidung.
Verbindung zu Naturwissenschaft und Technik	Fracking ist ein technischer Prozess, bei dem Chemikalien in die Umwelt gebracht werden, wobei diese Argumente in öffentl. Debatten genutzt werden.	Phosphatrückgewinnung ist sowohl Umwelt- als auch Wirtschaftsthema. Speziell in Bezug auf die Umwelt werden Argumente aus den Naturwissenschaften genutzt.	Pestizide sind Chemikalien, über die in Medien berichtet wird, wobei immer wieder Forschende oder Studien genutzt werden.

Auf die Fallstudien folgend soll der Entwicklungsprozess dieser in Kapitel 7 kurz beleuchtet und ein Modell für den Transfer der Lernumgebungen in die USA vorgestellt werden. Hier erfolgt eine Verknüpfung zu dem Theoriegebäude der SSIs sowie das Aufzeigen, wie durch Aktionsforschung Lehre durch Innovationen bereichert werden kann. Abschließend soll zusammengeführt (Kapitel 8) und das Potential weiterer Forschung aufgezeigt werden.

Dieses Kapitel basiert auf den in Kapitel 10, Anhang I dargestellten Publikationen.

3. Die Perspektive von Lehrkräften

Die vorangegangenen theoretischen Ausführungen sowie die folgenden Fallstudien, die im Fach Chemie unterrichtet wurden, jedoch eine geographische Perspektive aufweisen, enthalten auch Bezüge zu Fächern wie Biologie oder Politik. Dies impliziert zu einem gewissen Grad inter- oder intradisziplinäres Unterrichten. Überfachliche Ansätze sind wichtig, um beim Unterrichten ein breiteres Bild zu vermitteln, besonders wenn es um die per se interdisziplinäre nachhaltige Entwicklung geht (Joppich & Uhlenwinkel, 2017). Hierbei sind interdisziplinäre Ideen nicht neu (Labudde, 2014; Czerniak & Johnson, 2014), welche für höheres Interesse v.a. bei Mädchen sorgen können (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). Natürlich sind Lehrkräfte für die Umsetzung jedweder neuer Ansätze Schlüsselfaktoren, da sie diese aktiv implementieren können. Die Lehrkräfteperspektive scheint jedoch eher selten im Mittelpunkt der Forschung zu stehen. So geben Czerniak, Lumpe & Haney (1999) an, dass Lehrkräfte sich versprechen, dass das Interesse an und für Naturwissenschaften durch interdisziplinäre Ansätze steigt. Auf der anderen Seite besteht die Sorge, das Curriculum zu verwässern, ein hoher Zeitaufwand sowie fehlendes Material. In Deutschland sehen Gymnasiallehrkräfte solche Ansätze als gewinnbringend an, um fachliche Grenzen zu überschreiten (Häsing, 2009). Stübiger, Ludwig, Boss, Gessner & Lorberg (2006; 91) zeigen auf, dass Gymnasiallehrkräfte v.a. Lernziele wie vernetzendes Denken, Erwerb komplexer Problemlösestrategien und Perspektivwechsel bzw. Multiperspektivität verfolgen, was vor allem bei der Bearbeitung komplexer Probleme wichtig, obgleich zeitaufwendig, ist. Natürlich beziehen sich diese Studien auf interdisziplinären Unterricht, der typischerweise zwischen Fächern stattfindet. In dieser Arbeit wird jedoch eher auf intradisziplinären Unterricht hingewiesen (Labudde, 2014), obgleich dies keinen Ausschluss anderer interdisziplinärer Ideen bedeutet. Aus dem Theorierahmen (Kapitel 2) und der grundsätzlichen Ausrichtung der Arbeit erwuchs das Interesse zu erfahren, wie Lehrende das Nutzen einer geographischen Perspektive im Chemieunterricht wahrnehmen, woraus sich folgende Fragen ergaben:

- 1) Was verbinden Chemielehrkräfte aus ihrer eigenen Erfahrung mit "Geographie"?
- 2) Nutzen Chemielehrkräfte bewusst/unbewusst geographische Perspektiven in ihrem Chemieunterricht und haben Lehrkräfte Vorschläge für die Integration einer geographischen Perspektive?
- 3) Wie empfinden Chemielehrkräfte die Integration einer geographischen Perspektive in den Chemieunterricht?
- 4) Sehen Chemielehrkräfte Hindernisse bei der Integration einer geographischen Perspektive in den Chemieunterricht?

Um erste Hinweise für Antworten auf diese Fragen zu liefern, wurde eine explorative Interviewstudie durchgeführt, welche semi-strukturierte Interviews nutzte, um etwas über die Denkweise und die Erfahrungen der Lehrkräfte ausgehend von ihrem Berufsalltag zu erfragen (Aguirre & Speer, 2000; Verloop, van Driel & Meijer, 2001). Hierfür wurde ein Leitfaden (bspw. Niebert & Gropengießer, 2014; Gläser & Laudel, 2010) erstellt, der im Anhang VII.1 dargestellt ist. Dieser wurde zu Beginn in zwei Interviews pilotiert. Zusätzlich wurden Themenkarten vorbereitet (Klimawandel, Umweltverschmutzung, Ressourcen wie z. B. fossile Energieträger), welche jedoch nicht zum Einsatz kamen. Benutzt wurde eine Grafik mit einer Tabelle, um in der Mitte des Interviews das Drei-Säulen-Modell der Geographie (siehe Kap. 2) zu erläutern.

Der Leitfaden beginnt mit einer Erzählaufforderung nach dem persönlichen Empfinden des eigenen Geographieunterrichts und fragt dann nach einer Definition von Geographie. Hierauf folgen Fragen zu Überlappungen zwischen der Chemie und der Geographie. Darauf aufbauend wird dann nach dem Nutzen geographischer Perspektiven im eigenen Unterricht sowie konkreteren Beispielen der Umsetzung gefragt, um anschließend zu eruieren, ob dies bewusst geschieht. Daraufhin wird das Drei-Säulen-Modell der Geographie vorgestellt und darum gebeten, die Chemie darin einzuordnen sowie Beispiele zu nennen. Es folgen das Nennen von Vor- und Nachteilen sowie die Frage nach einer grundsätzlichen Bereitschaft, solche Aspekte (bewusst) im eigenen Unterricht zu integrieren. Hierbei sollen die Lehrkräfte formulieren, wovon dies abhängig sein könnte. Anschließend wird erneut nach Überlappungen gefragt. Am Ende soll eine eigene Meinung formuliert und potentielle Ergänzungen gegeben werden.

Die in deutscher Sprache geführten Interviews dauerten ca. 15-25 Minuten, wurden aufgenommen und vereinfacht transkribiert, wobei die Sprache teilweise geglättet wurde (Kuckartz, 2018). Die Analyse erfolgte nach den Regeln der Qualitativen Inhaltsanalyse (ebd.), welche einem mehrschrittigen, zyklischen Prozess folgt. Es wurden zunächst deduktiv Kategorien erstellt und im Laufe des Codierens durch induktive ergänzt. Die Codes wurden regroupiert und so ein Kategoriensystem gebildet. Dieser Prozess wurde wiederholt, bis die Daten ausreichend durch das Kategoriensystem abgebildet wurden, um Hinweise auf die Beantwortung der obigen Fragen zu geben. Jede Kategorie unterteilt sich in Subkategorien, wobei in Tabelle 4 nur die Kernkategorien dargestellt sind. Nachdem das Kategoriensystem entwickelt wurde, wurden alle Interviews von zwei Kodierenden kodiert und alle Codes diskutiert, um eine Übereinstimmung zu erzielen, was als *subjective assessment* (Guest, MacQueen & Namey, 2012) bzw. konsensuelles Kodieren (Hopf & Schmidt, 1993; 51) aufgefasst werden kann. Dies ist ein angemessener Weg, um eine gute Inter-coder-

3. DIE PERSPEKTIVE VON LEHRKRÄFTEN

Übereinstimmung zu erhalten (Kuckartz, 2018). Im Falle von Unstimmigkeiten wurden diese diskutiert, um eine höhere inter-subjektive Übereinstimmung zu erzielen (Swanborn, 1996).

Tabelle 4 Kernkategorien resultierend aus der explorativen Interviewstudie

Kategorie	Beschreibung
Erinnerung	Erinnerungen an den eigenen Geographieunterricht wurden codiert.
Definition	Das Verständnis der Geographie aus der Lehrkräfteperspektive wurde codiert (Definition).
Themen	Themen mit sich potentiell überlappenden Themen wurde codiert.
Überschneidung	Grundsätzliche Äußerungen zu der Überschneidung wurden codiert.
Verbindung zu eigenem Unterricht	Verbindungen von Chemie und Geographie im eigenen Unterricht wurden codiert.
Vor-/Nachteile	Vor-/Nachteile wurden codiert, die im Zusammenhang mit einer potentiellen Überschneidung beider Fächer auftraten.
Faktoren/Hindernisse	Faktoren und Hindernisse wurden codiert, die bei der Nutzung einer geographischen Perspektive im Chemieunterricht bestehen.
Meinung	Aussagen, die eine Meinung der Lehrkräfte betreffend den Einbezug der Geographie in die Chemie enthielten, wurden codiert.

Die Stichprobe besteht aus zwölf Lehrkräften, welche bewusst gewählt wurden (Patton, 1990), um eine heterogene Gruppe aufzubauen, die möglichst viele Ideen abbildet. Hierbei wurden nur Gymnasiallehrkräfte interviewt. Die Lehrerfahrung wurde höher gewichtet als eine gleiche Anzahl des jeweiligen Geschlechts oder das Alter. Daher wurde zwischen Lehrkräften mit einer Lehrerfahrung unter und über zehn Jahren unterschieden – letztere können als Expert*innen angesehen werden (Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993) (siehe Tab 5). Diese Interviewstudie hat aufgrund der geringen Stichprobenumfangs nur eine begrenzte Aussagekraft.

Tabelle 5 Überblick der Stichprobe (Naturwissenschaften = Biologie; Physik; keine Naturwissenschaften ≠ Geographie)

Geschlecht	M: 7	W: 5
Lehrerfahrung	< 10 Jahre: 6	>10 Jahre: 6
Fächerkombination	Naturwissenschaft: 7	keine Naturwissenschaft: 5
Schulumgebung	Ländlich: 6	Städtisch: 6

Die Lehrkräfte haben verschiedene Erinnerungen an ihren eigenen Geographieunterricht berichtet, welche teilweise wenig vorhanden und mehrheitlich negativ waren. Eine Lehrkraft berichtete, dass Geographie das Lieblingsfach gewesen sei. Bei der Definition wurden hauptsächlich physiogeographische sowie topographische Merkmale genannt – humangeographische Merkmale weitaus weniger. Nur eine Lehrkraft nannte physische Geographie und war in der Lage einen interdisziplinären Charakter zu beschreiben: *“ein wilder Mix aus allem”*. Lehrkräfte mit Physik oder Biologie als Zweitfach nannten tendenziell mehr Aspekte.

Ein zentraler Punkt des Interviews war das Codieren von Themen, welche sich den Lehrkräften zufolge für die Einbindung einer geographischen Perspektive eignen oder bereits im eigenen Unterricht Anwendung finden. Jede Nennung eines Themas wurde codiert. Dabei ist herauszustellen, dass die Themen nicht zwingend geeignete Beispiele sein müssen oder von Lernenden als interessant empfunden werden. Aus einer geographiedidaktischen Perspektive unterscheidet sich das Interesse von Lehrkräften und Lernenden gegenüber bestimmten

Themen stark (Hemmer & Hemmer, 2017). Verkürzend zusammengefasst, bevorzugen Lehrkräfte physiogeo- oder topographische Themen mit Bezug zu der eigenen Region und Lernende das Gegenteil. Die benannten Themen wurden zunächst zu Subkategorien zusammengefasst. Einige Subkategorien ließen sich dann weiter unterteilen: Rohstoffe, Klima und komplexe Themen. Jedes genannte Thema wurde nur einmal codiert, wobei eine Aussage wie „Metalle und ihr Recycling“ nur zum Thema Recycling und nicht zu Metallen codiert wurde. Das Thema Klimawandel erhielt eine eigene Kategorie und wurde nicht zu komplexen Themen gezählt. Auszugsweise sollen einige Aspekte benannt werden.

Tabelle 6 Überblick der codierten Themen bei denen Chemielehrkräfte (potentiell) eine geographische Perspektive benannten (fett: Subkategorie des 1. Level / kursiv: Subkategorie des 2. Level; L= Anzahl der Lehrkräfte; GC= Gesamtcodierungen)

Kategorie	L	GC	Kategorie	L	GC
Analysemethoden	4	6	Klima	11	4+42
Chemiecurriculumthemen	7	9	<i>Klimawandel</i>	9	24
Gestein / Mineralien	5	10	<i>Ozeanversauerung</i>	1	4
Kreisläufe	4	10	<i>Atmosphäre</i>	5	7
Landwirtschaft	2	3	<i>Ozon</i>	1	7
Natur-/Umweltkatastrophen	5	6	Komplexe Themen	12	0 + 52
Wirtschaft	4	12	<i>Menschlicher Bezug</i>	6	14
Rohstoffe	12	10 + 40	<i>Ressourcenkonflikte</i>	9	18
<i>Salze</i>	3	4	<i>Mobilität</i>	5	10
<i>Recycling</i>	3	6	<i>Nachhaltigkeit</i>	4	10
<i>Fossile Energieträger</i>	6	12			
<i>Metalle</i>	6	18			

Bei den Kreisläufen handelt es sich hauptsächlich um den Kohlenstoffkreislauf, wobei diese Kategorie sowie Natur-/Umweltkatastrophen vorrangig von Biologie- und Physiklehrkräften benannt wurden. Chemiecurriculumthemen beziehen sich auf Themen wie das chemische Gleichgewicht, die ohne Kontext benannt wurden. Wirtschaft beinhaltet Themen, die wirtschaftliche Aspekte in den Vordergrund stellen, wie Transportwege, und „rein chemische“ Themen eher unterschwellig fokussieren. Die Kategorien Rohstoffe, Klima und komplexe Themen beinhalten die meisten Codes und nahezu alle Lehrkräfte benannten hier Themen. Die Kategorie Rohstoff umfasst Themen wie fossile Energieträger und Metalle, wobei beobachtet werden konnte, dass Metalle und Recycling vor allem von städtischen Lehrkräften benannt wurden. Bezüglich des Klimas erwähnten die meistens Lehrkräfte den Klimawandel als Thema, wobei dieses auch durch den Interviewleitfaden aufgegriffen wurde. Für die Kategorie komplexe Themen wurden Themen kategorisiert, die eine naturwissenschaftliche Basis aufweisen, aber starke Einflüsse einer sozialen/wirtschaftlichen Perspektive besitzen. Dies kann als eine hohe Anzahl von Einflussgrößen verstanden werden und weist darauf hin, dass sich solche Themen nicht mit linearen Lösungsstrategien auflösen lassen (Rempfler & Uphues, 2012). Themen mit einem menschlichen Bezug sind bspw. Klimaflüchtlinge oder (bezüglich Ressourcenkonflikten) Themen wie Kriege um Wasser. Mobilität beinhaltet v.a. E-Mobilität.

Nachhaltigkeit wurde codiert, wenn sie explizit benannt wurde. Letztere Kategorien traten vor allem bei städtischen Lehrkräften auf und der Verweis auf E-Mobilität erfolgte überwiegend von unerfahreneren Lehrkräften, die keine Naturwissenschaft als Zweitfach studiert hatten.

Acht Lehrkräfte gaben an, dass Überschneidungen vielfach vorhanden seien, während drei Lehrkräfte nur wenige Überlappungen sahen, wobei überwiegend die erfahreneren Lehrkräfte viele Berührungspunkte nannten. Überschneidungen wurden meist mit der physischen Geographie gesehen, was angesichts der naturwissenschaftlichen Grundperspektive und des Interesses von Lehrkräften (Hemmer & Hemmer, 2017) nicht verwunderlich ist. Angesprochen auf Überschneidungen mit dem eigenen Unterricht konnte jede Lehrkraft ein Beispiel benennen, wobei nur Zweien diese bewusst gewesen ist. Eine grundsätzliche Bereitschaft zum Integrieren einer geographischen Perspektive konnte bei elf Lehrkräften (einmal kein Code) gefunden werden, wobei sieben Lehrkräfte angaben, dass solche Perspektiven unterbewusst Einzug in den Unterricht finden: *“Macht man glaube ich jetzt nicht so schwerpunktmäßig, aber an ganz vielen Stellen taucht das ja dann irgendwie auf“*.

Bezüglich der Vorteile gaben die Lehrkräfte u.a. an, dass sie methodische Aspekte erwarten. So sehen zwei Lehrkräfte die starke methodische Ausrichtung der Geographie als potentiell gewinnbringend an, was sich auch in der Kompetenzformulierung der Geographie wiederfindet (GSGS, 2014). Sieben Lehrkräfte sehen ein höheres Interesse bzw. eine höhere Motivation als Vorteil, was sich auch in Studien von Bennett et al. (2007) oder Czerniak et al. (1999) zeigt. Sechs Lehrkräfte nannten auch einen stärkeren Lebensweltbezug, wobei die meistgenannte Antwort das Aufzeigen des großen Ganzen war (zehn Lehrkräfte), denn *“die Welt da draußen ist auch nicht trennscharf, sondern genau das Gegenteil. Die ist ein großer, großer Kosmos und allein deshalb müssen die Dinge verbunden werden, [...]”*. Diese Ansicht wird von Stübiger et al. (2006) auch zum interdisziplinären Unterrichten vertreten. Acht Lehrkräfte benannten das interdisziplinäre Unterrichten an sich als wichtig, da Fachgrenzen überwunden werden sollen (siehe Häsing, 2009). Die halbe Stichprobe nahm das Interview zudem explizit als Bereicherung wahr, wie folgendes Zitat verdeutlicht: *“Ich muss ehrlich sagen, zu Anfang war ich ein bisschen kritisch – dass ich sagte, hmm ob das passt oder nicht – [...] Also es gibt mehr Überschneidungen, als ich vorher gedacht hätte.”* Dies waren mehrheitlich die eher unerfahrenen Lehrkräfte – sodass hier interpretiert werden kann, dass erfahrene Lehrkräfte weniger Fachwissen hinzugewannen, da sie auch zuvor mehr Überschneidungen benennen konnten. Drei weniger erfahrene Lehrkräfte benannten die Tatsache, dass es wohl keine oder nur wenig Nachteile gäbe: *“ich glaube, alles was man an Nachteilen erwähnen würde, wäre einfach nur geschuldet dessen, dass man einfach nicht gewohnt ist, in dieser Art und Weise zu*

unterrichten und auch vor allen Dingen der Schüler als jemand, der [...], einfach auch die Komplexität nicht gewohnt ist zu erfahren und zu verarbeiten”. Neben Vorteilen wurden Nachteile benannt, die deutlich weniger auftraten. So gaben fünf Lehrkräfte an, dass die Fachstruktur verloren gehen könnte, was auch andere Forschende hervorheben (Czerniak et al. 1999). Zudem wurde der Aufwand für die Materialerstellung benannt, die Tatsache, dass auch der Reiz einer Disziplin hervorgehoben werden sollte und zwei Lehrkräfte nannten den Fakt, dass Verbindungen theoretisch überall gezogen werden könnten, wenn nur lang genug gesucht würde.

Natürlich besitzt die Integration einer geographischen Perspektive in den Chemieunterricht Hindernisse, wobei die Lehrkräfte hauptsächlich strukturelle Aspekte anführten: *“Ich glaube, für das Umsetzen muss noch ein Strukturwandel oder [...] Denkmuster aufgebrochen werden und auch noch Zeit investiert werden, um Lehrerbildung dahingehend [...] zu sensibilisieren”*. Die häufigsten Antworten waren eine nicht zufriedenstellende thematische Passung, fehlende Unterrichtszeit und Material, was mit Czerniak et al. (1999) einhergeht. Grundsätzlich formulierten elf Lehrkräfte eine positive Meinung (einmal kein Code).

Auf den ersten Blick mögen diese Ergebnisse nicht unmittelbar mit den Nachhaltigkeitsaspekten des theoretischen Rahmens übereinstimmen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass viele der genannten Themen, wie Klimawandel, Ressourcenkonflikte oder Mobilität implizit eine Diskussion über Nachhaltigkeit innetragen. Ebenso lassen sich Beziehungen zu den SDGs (UN, 2015) oder den planetaren Leitplanken (Steffen et al., 2015) herstellen und Meinungen bezüglich einer ganzheitlicheren Betrachtung und des interdisziplinären Charakters können indirekt einer Nachhaltigkeitsbetrachtung zugeordnet werden. Unterrichten über Nachhaltigkeit bedeutet nicht zwangsläufig, entsprechende Dimensionen explizit zu benennen oder die Geschichte der Nachhaltigkeit auswendig zu lernen, sondern es ist vielmehr das Konzept, welches bei vielen genannten Themen inhärent ist. Auch mag das geringe Nennen von Nachhaltigkeit ein Indiz für die immer noch schleppende Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit im Chemieunterricht sein (z.B. Burmeister et al., 2012). Die folgenden Fallstudien lassen sich hierbei als Maßnahme gegen fehlendes Material heranziehen und zeigen auf, wie man geeignete Themen konkret im fächerübergreifenden Unterricht umsetzen kann.

Dieses Kapitel basiert auf der in Kapitel 10, Anhang II dargestellten Publikation.

4. Fracking

Das Thema Fracking findet sich eher selten in der fachdidaktischen Literatur. So versuchte Hoppe (2014), das Thema diskursanalytisch in den Geographieunterricht zu integrieren, und Wilson (2018) nannte zehn Fakten, die im Unterricht thematisiert werden könnten. International implementierten Lombardi, Bickel, Bailey & Burrell (2018) das Thema neben drei anderen in einem *earth science* Kurs und untersuchten, wie die Studierenden ihre Bewertung des Themas vornahmen – hierbei stand das kritische Denken im Vordergrund. In einer einwöchigen Einheit zum Fracking untersuchten Romine, Sadler & Kinslow (2017) das *socio-scientific-reasoning* (SSR), worunter folgendes zu verstehen ist: „*a construct that describes thinking practices that individuals use as they make sense of, consider solutions for, and work to resolve complex SSI. SSR is a set of related cognitive competencies that can range from naïve or low performance levels to target performance levels that are representative of informed and sophisticated ways of thinking about and resolving SSI*“ (ebd. 276f). Hier fanden sie beispielsweise, dass dies weitgehend unabhängig von deklarativem Wissen ist.

4.1 Fachliches

Fracking ist ein seit 1947 genutztes technisches Verfahren, bei dem durch Einbringen einer Flüssigkeit unter hohem Druck Risse im Gestein erzeugt werden. Daher wird auch von *hydraulic fracturing* gesprochen (Montgomery & Smith, 2010). Bei diesem Verfahren wird zwischen konventionellen und unkonventionellen Lagerstätten unterschieden, ohne Unterschiede in der Gaszusammensetzung. Während bei ersteren Vorkommen Erdöl und Erdgas akkumuliert sind, handelt es sich bei unkonventionellen Vorkommen um feinverteilte Ressourcen (bspw. Schiefergas), da das Lagerstättengestein nicht permeabel genug ist, wodurch kleine Rohstoffkonzentrationen entstehen (BGR, 2012). Um die Rohstoffe mittels Frackings zu gewinnen, enthält die eingesetzte Frack-Flüssigkeit verschiedene Komponenten, nämlich überwiegend Wasser und Stützmittel (BMU, 2012). Durch die hohe Nachfrage nach Energieträgern, einer damit verbundenen Preissteigerung und erhöhten technischen Effizienz, ist dieses Verfahren Alltag in den USA (Habrigh-Böcker, Kirchner & Weißenberg, 2014; 2ff), wohingegen es in Deutschland verboten ist (Verbotsüberprüfung 2021). Eine Ausnahme bilden maximal vier Probebohrungen (Bundestag, 2016).

Kosinowski (2016) bezeichnet das Verfahren aus geowissenschaftlicher Perspektive als sicher und verweist auf entsprechende Standards. Dass Fracking das Erdbebenrisiko erhöht, konnte bislang nicht direkt bestätigt werden (Habrigh-Böcker et al. 2014; 90ff). Exxon Mobil (2016) gibt an, dass es zu kleinen Erschütterungen kommen kann, die nicht spürbar seien. Die BGR

(2016; 175) stellt heraus, dass für weite Teile Deutschlands Erdbeben durch Fracking „wenig wahrscheinlich“ sind. Problematisch könnte die Flüssigkeit sein, die wieder an die Erdoberfläche tritt (Flowback), wodurch geogene Stoffe wie Salze, Metalle, radioaktive Stoffe wie Radium oder organische Stoffe wie Benzol gefördert werden können (Frimmel et al., 2012). Eine Befürchtung sind Wasserverunreinigungen, wenn die Frack-Flüssigkeit oder Teile des Flowbacks mit dem Grundwasser in Kontakt kommen (Habrich-Böcker et al., 2014; 78ff). Wird das Klima betrachtet, besitzt konventionelles Erdgas eine bessere CO₂-Bilanz als Kohle oder Erdöl (Exxon Mobil, 2016). Eine Studie der Europäischen Kommission (Forster & Perks, 2012) gibt an, dass Schiefergas klimaschädlicher als konventionelles Erdgas sei, aber nicht so schädlich wie Kohle, wobei eine BUND-Studie wiederum Schiefergas als schädlicher als Kohle ansieht (Simon, Aitken, Flues & Mümmeler, 2013). Bezüglich der Wirtschaftlichkeit scheint es laut Habrich-Böcker et al. (2014; 91ff) unwahrscheinlich, dass Preise durch unkonventionell gefördertes Gas sinken. Simon et al. (2013; 12) sehen die Annahme, dass unkonventionelles Erdgas günstig und im Überfluss vorhanden sei als „Mythos“. Grundsätzlich herrscht unter Experten Uneinigkeit (Howarth, Ingraffea & Engelder, 2011) und auch die American Chemical Society (2019) fordert mehr Transparenz und unabhängige Studien.

4.2 Implementierung

Die Unterrichtssequenz um Fracking besteht sowohl in der deutschen als auch in der Variante für die USA aus einer Lernumgebung, die mit der Software Prezi erstellt wurde (Krause & Eilks, 2014). Mit der Classic-Version kann eine Oberfläche mit Rahmen bestückt werden, die mit verschiedenen Medien (Text, Bild, Video) gefüllt und einzeln angesteuert werden können, um einen individuellen Lernweg zu ermöglichen. Es kann auch einem festen, voreingestellten Pfad gefolgt werden, was hier jedoch nicht intendiert ist. Beide Lernumgebungen (Abb. 5) sind inhaltlich ähnlich aufgebaut und unterscheiden sich in ihrer Fokussierung auf Deutschland bzw. die USA. Beide beginnen mit einer Einleitung über verschiedene Medienausschnitte zum Fracking und führen dann zu einer Anleitung. Daraufhin wird im mittleren Rahmen Fracking grob zusammengefasst und ein Ausblick gegeben, was in den äußeren vier großen Rahmen präsentiert wird. Hierbei geht es von oben links im Uhrzeigersinn beginnend um das Verfahren an sich, die Fracking-Flüssigkeit, Vor- und Nachteile des Frackings sowie die Darstellung in den Medien und die Frage der Rentabilität. Hierbei besteht eine Vertiefungsmöglichkeit in den Schwerpunktthemen durch eine weitere Ebene mit Inhalten.



Abbildung 5 Überblick Lernumgebungen in deutscher (links) und englischer (rechts) Sprache
Genutzt wurde die Lernumgebung in den USA und in Deutschland zur Vorbereitung eines Rollenspiels mit vier Rollen (Zowada, Gulacar & Eilks, 2019). Beim Ablauf wurde sich am gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht (Marks & Eilks, 2009) orientiert. In Deutschland wurde in zwei Schulstunden in der Lernumgebung gearbeitet, um die Rollen vorzubereiten. In den USA geschah dies in Heimarbeit.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Deutschland

Die Rückmeldungen zum Unterricht über Fracking wurden mittels eines Fragebogens (Anhang VII.2; drei offene Fragen und 12 vierstufige Likert-Items) erhoben und sind weitestgehend positiv (Abb. 6); so empfanden Lernende das Thema als interessant und äußerten vermehrt das Gefühl, dass sie nachdenklich über das Thema geworden seien. Die meisten gaben an, verstanden zu haben, worum es beim Fracking geht. Einige Lernende hoben die Unklarheit einer „richtigen“ Lösung hervor: „...dass es eine kontroverse Debatte ist, deren Entscheidung wahrscheinlich nie zu 100 % von jedem akzeptiert ist“. Zudem denken die Lernenden, dass Fracking im Unterricht behandelt werden sollte, obgleich es ein weniger klassisch chemisches Thema ist.

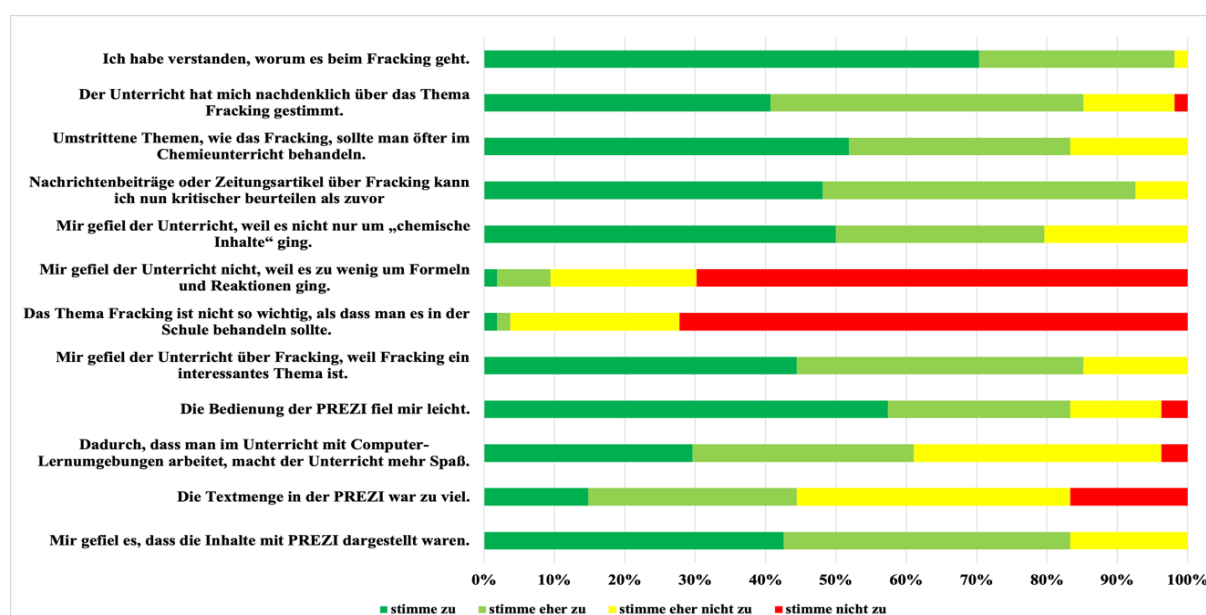


Abbildung 6 Übersicht Likert-Items in deutschen Lerngruppen (n=54)

4.3.2 USA

Die Evaluierung in den USA erfolgte mittels eines Fragebogens, welcher sowohl Likert-Items (12 vierstufige) als auch eine Ratingskala und zwei offene Fragen enthielt (siehe Anhang VII.3); zusätzlich wurde ein Wissenstest genutzt. Die Stichprobe bestand aus 842 (m = 263; w = 579) Studierenden. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der Likert-Items und verdeutlicht die positive Wahrnehmung der Studierenden, welche die Wichtigkeit des Themas für sich selbst wahrnahmen und sagten, dass eine Beschäftigung wichtig sei, obwohl politische Entscheidungen feststünden. Für die Auswahl dieses Themas für ein Curriculum ergaben sich unterschiedliche Ansichten. Erklärt werden könnte dies über das Verständnis der Disziplin. Als die Studierenden auf einer Skala von 1 (sehr stark) bis 10 (sehr schwach) einschätzen sollten, inwieweit das Thema ihr Curriculum bereicherte, lag der Mittelwert bei 5.13 (S=2.06). Eine offene Antwort (Bewertung 10) war: *“Because this topic does not interest me and it does not have any direct connection to acid and base titrations which is what we are studying right now. [...]”*, während eine andere Antwort angab (Bewertung 1): *“Fracking is directly related to my major, Chemical Engineering. [...] Its controversial nature especially enforces fracking as a relevant topic for an aspiring ChemE like myself to learn about. Thus, learning about fracking enriches the curriculum in my course of study”*. Eine mögliche Erklärung für ein geringeres Interesse der Integration des Themas in den *general chemistry* Kurs mag die Struktur des Kurses sein, welche als *structure-to-the-discipline* verstanden werden kann. Diese Fallstudie wurde nicht in der Prüfung erwähnt, sodass dies für die Zukunft eine Maßgabe sein könnte.

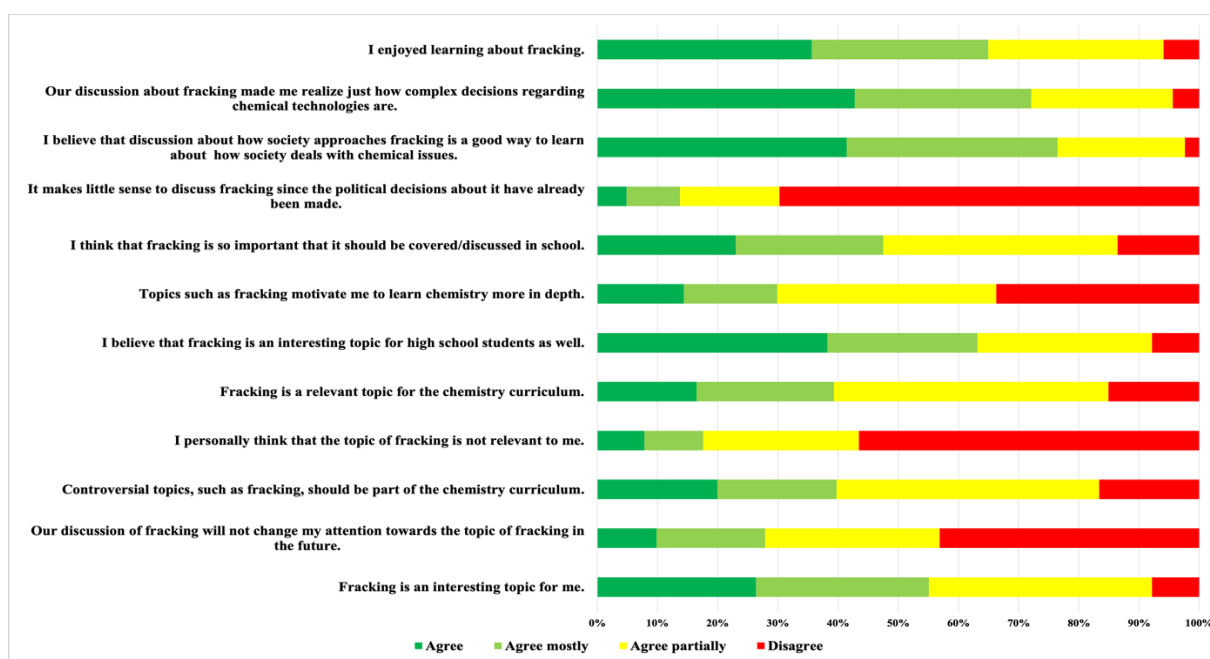


Abbildung 7 Übersicht Likert items in einer amerikanischen Lerngruppe (n=842)

Trotzdem erzielte ein Prä/Post-Wisstest mit 13 Multiple-Choice und zwei Fragen mit wahr/falsch Auswahl eine signifikante Steigerung (Prätest: $M = 6,58$, $S = 2,17$ und Posttest: $M = 11,78$, $S = 2,53$; t-Test: $t(857) = -46.41$, $p < 0.001$), was einen Lernzuwachs verdeutlicht (siehe Anhang VII.4). Diese Tests wurden von den lokalen Partnern durchgeführt.

4.4 Diskussion

Sowohl die deutschen als auch die amerikanischen Ergebnisse verdeutlichen die Funktionalität der Lernumgebung bei der Vermittlung des Themas unter Berücksichtigung einer Fülle von Aspekten. Hierfür wurde die Lernumgebung in beiden Fallstudien gelobt. Zudem vermag dieses Thema, trotz der unterschiedlichen rechtlichen Lage in Deutschland und den USA, Unsicherheiten zu integrieren und aufzuarbeiten. Den meisten Lernenden gefällt dabei das Arbeiten in der Lernumgebung sowie den Rollen und nach eigenen Angaben wurde die Unsicherheit bei der Bewertung weitestgehend erfasst. In Deutschland zeigt sich, dass eine gute Lernumgebung zu einem vorher nicht präsenten Thema geschaffen worden ist, welche zusätzlich die Integration digitaler Medien anstrebt. Es zeigt sich vor allem für die USA, wie sich SSI-basierte Lernumgebungen mit relativ kleinem Aufwand integrieren lassen. Zudem werden indirekt weitere Themen in der Lernsequenz angeschnitten, wie der Klimawandel oder das politische System der USA (aus deutscher Sicht). Vor allem zeigt sich aber die Dysbalance zwischen dem, was in späteren Tests abgefragt wird, und dem, was in der gezeigten Lernumgebung thematisiert wird. Obgleich viele Studierende die Bedeutung dieses Themas für sich erfassen, bleibt es doch ein Ziel solche Themen stärker mit den abschließenden Klausuren zu verbinden, um nicht den Eindruck zu erwecken, dass ein solches Lernen zwar wichtig, aber nicht klausurrelevant sei. Hier kann jedoch aus den Likert-Items auch abgeleitet werden, dass die Lernenden die Relevanz des Themas wahrgenommen haben, wobei natürlich angezweifelt werden kann, ob der Relevanzbegriff so ausgeschärft ist, wie er bei Stuckey et al. (2013) dargestellt ist. Doch ungeachtet dessen sehen die Lernenden die Bedeutung des Themas für sich, was sich ebenfalls in dem Item der politischen Diskussion widerspiegelt, da es scheinbar wichtig ist über ein Thema zu lernen, bei dem aktuell politische Entscheidungen gemacht wurden, was ein Kriterium von SSIs nach Stolz et al. (2013) darstellt. Abschließend zeigt diese Fallstudie auf, wie ein Thema mittels digitaler Lernumgebung für viele Lernende attraktiv gestaltet werden kann und so ein Curriculum durch das Integrieren SSI-basierter Module bereichert.

Dieses Kapitel basiert auf denen in Kapitel 10, Anhang III dargestellten Publikationen.

5. (Grüne) Pestizide

Im Vergleich zu Fracking findet sich das Thema Pestizide durchaus häufiger in der fachdidaktischen Literatur, bspw. in einem entsprechenden „Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule“-Themenheft (bspw.: Gent & Dechet, 2001) oder beim Thema Gewässerrandstreifen (Siemens & Ostersehl, 2017). International findet sich das Thema Pestizide in der analytischen Chemie im Kontext der Hochschulbildung, wobei verschiedene Pestizide in verschiedenen (Real-)Proben nachgewiesen werden, beispielsweise in Saft (Radford, Hunter, Boyd Barr & Ryan, 2013). Nachweise von DDT (Davis, Pauls & Dick, 2017) und auch Glyphosat (mittels UV-Vis) (Felton et al., 2018) wurden ebenfalls beschrieben. Nicht nur rein analytisch arbeiteten O'Hara, Sanborn & Howard (1999), die ihre Laborarbeit mit Pestiziden in Trinkwasser kontextualisierten, um Interesse und Motivation zu steigern. Noch stärker wurde das Thema durch Stewart (2014) unterbewusst eingebracht, indem er eine Onlineplattform nutzte, um Integrierten Pflanzenschutz erfahrbar zu machen. Hier mussten die Studierenden während einer Erntesaison entscheiden, wie sie ihre Feldfrüchte schützen. 1996 verbanden Kegley, Stacy & Carroll ihre Laborarbeit mit Lebensweltbezügen, indem sie Pestizide in Gemüse und Früchten nachwiesen, um letztlich aus zwei Perspektiven zu diskutieren, wie die Nahrungsmittelversorgung gestaltet werden kann. Auch Mandler et al. (2012) integrierten Pestizide in ihre Kontextualisierung in einem Teilmodul ihrer Unterrichtssequenz. Grundsätzlich sind viele Ansätze experimentell und nur selten werden kontroverse Perspektiven verglichen.

5.1 Fachliches

Die meisten Deutschen sehen Risiken von Pestiziden als größer als ihren an Nutzen und denken, dass Rückstände in Lebensmitteln per se schädlich sowie ein großes Gesundheitsrisiko seien (BfR, 2016a; BMEL, 2017a). Dabei sind Pestizide deutlich kontroverser (Hastik et al., 2013). Pestizide sind ein Oberbegriff für Pflanzenschutzmittel und Biozide (EU, 2009), welche sich je nach Wirkorganismus unterschiedlich benennen, v.a. Insektizide gegen Insekten, Fungizide gegen Pilze und Herbizide gegen Pflanzen (Unkräuter). Die Wirkweise von Pestiziden verläuft meist über Eingriffe in Stoffwechselprozesse (Beckmann & Haack, 2003; Henningsen, 2003; Seitz, Hoffmann & Krähmer, 2003). Unbestritten ist, dass Pestizide hergestellt werden, um bestimmte Organismen abzutöten oder zu vertreiben. Einen geschichtlichen Überblick ab den 1940ern gibt Unsworth (2010), wobei das Werk von Carson (1962) erstmals vermehrt auf Risiken der Pestizidnutzung aufmerksam machte. Die Zulassung neuer Pestizidwirkstoffe ist ein langwieriger und kostenintensiver Vorgang, welcher auf EU-Ebene entschieden wird, bevor

ationale Pflanzenschutzmittelformulierungen zugelassen werden können (BMEL, 2017a). Pestizide sind meist Teil eines Integrierten Pflanzenschutzes, der auf mehrere Methoden setzt. Ohne synthetische Pestizide wird im ökologischen Landbau gearbeitet, was aber laut dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017a) keine Alternative darstellt, um aktuell die gesamte Versorgung bei gleichbleibendem Preis und Konsum abzudecken. Für Umweltorganisationen ist durch die negativen Zusammenhänge, wie ein vermutliches Insektensterben und das Auslösen von Krankheiten, ein Verzicht auf Pestizide unumgänglich (Allsop et al., 2015). Der Nationale Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln gibt dabei an, dass Pflanzenschutz notwendig ist, wobei der Pestizidanteil abnehmen soll (BMEL, 2017b).

Bei der Diskussion um Glyphosat fordern Befürworter eine sachlichere Diskussion, während Gegner ein Glyphosat-Verbot anstreben (Küchler & Zaller, 2018). Glyphosat ist ein seit 1974 in Deutschland zugelassenes Totalherbizid, dessen Genehmigung durch die EU 2017 um fünf Jahre verlängert wurde. Glyphosat wirkt gegen alle nicht-resistenten Pflanzen und ist eines der meistverkauften Herbizide (BMEL, 2018). Der Wirkmechanismus basiert auf der Ähnlichkeit zu Phosphoenolpyruvat und verhindert die Bildung vieler aromatischer Aminosäuren (bspw. Phenylalanin und Tyrosin). Deren Mangel führt effektiv zum Sterben der Pflanze, bei einem gleichzeitig günstigen Preis und guter Aufnahmefähigkeit (Seitz et al., 2003). In die Kritik geriet Glyphosat u.a. durch den Verdacht, wahrscheinlich Krebs aufzulösen, welcher durch die International Agency for Research on Cancer (IARC, 2016) erhoben wurde. Anders sehen dies das BfR (2016b) oder die europäische Chemikalienagentur (BMEL, 2018). Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich über die Arbeitsweisen dieser Organisationen erklären: Die IARC gibt an, ob ein Stoff das Potenzial hat, Krebs zu erzeugen, während das BfR einschätzt, ob dieses Risiko eintreten kann. Langzeitstudien aus den USA sehen keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Glyphosat und Krebs (Andreotti et al., 2018). Glyphosat soll für einen Rückgang der Artenvielfalt mitverantwortlich sein – speziell Bestäuber. Grundsätzlich existiert ein Zusammenhang zwischen moderner Landwirtschaft und dem Rückgang der Biodiversität (UBA, 2018), wobei Glyphosat eher als insektenfreundlich gilt, da der Wirkmechanismus in den Tieren nicht vorkommt. Neuere Studien vermuten, dass Glyphosat Darmbakterien von Honigbienen schädigen könnte (Motta, Raymann & Moran, 2018). Richtig ist in jedem Falle, dass Glyphosat die Lebensgrundlage für Insekten und andere Tiere auf Feldern vernichtet. Alternativen wie das Pflügen vernichten ebenso Pflanzen auf den Feldern und bergen durch eine höhere Erosionsgefahr andere Risiken (BMEL, 2018). In der Politik wird aktuell über einen schrittweisen Ausstieg diskutiert (Spiegel online, 2018).

Alternativen zu synthetischen Pestiziden stellen *green pesticides* dar, welche aus organischen Materialien gewonnen werden und als weniger schädlich für Mensch und Umwelt gelten. Ätherische Öle nehmen hier eine große Gruppe ein, welche aus verschiedensten Pflanzenteilen gewinnbar und flüchtige, geruchsintensive Verbindungen sind. Die Wirkweisen sind nicht vollständig aufgeklärt, wobei diese Verbindungen durch ihre Flüchtigkeit oft als Botenstoffe fungieren. Eine Gruppe sind Terpene. Hier wirken einige Monoterpene zytotoxisch gegen pflanzliches und tierisches Gewebe oder beeinflussen den Ionen-Transport im Nervensystem und haben Einfluss auf die Freisetzung von Acetylcholinesterase. Andere wirken als Repellent (Rathore, 2017). Ein Beispiel ist das Orangenöl, welches meist durch Kaltpressen aus Orangenschalen gewonnen wird. Dieses findet sich in Brasilien mit einem Weltproduktionsanteil von ca. 35% (Statista, 2018b). Hauptbestandteil des Orangenöls ist d-Limonen (ca. 90%), welches in den USA schon lange als Insektizid und antibakterielles Mittel registriert ist. Orangenöl wirkt als Kontaktinsektizid gegen Insekten wie Ameisen. Orangenöl ist wenig giftig, non-persistent, ein Repellent und verzögert das Wachstum vieler Insekten. Negativ zu bewerten sind verfügbare bessere Alternativen, der Marktpreis sowie die Flüchtigkeit. Zudem steht d-Limonen im Verdacht Dermatitis auszulösen (Ciriminna, Meneguzzo & Pagliaro, 2017).

5.2 Implementierung

Die Unterrichtssequenz ist für drei bis vier Unterrichtsstunden ausgelegt und beginnt mit verschiedenen Zeitungsüberschriften, die die Kontroversität von Pestiziden verdeutlichen sollen. Strukturgebendes Element ist Vânia Zuin, die aktiv in Brasilien an grünen Pestiziden forscht und somit eine authentische Expertin für das Thema darstellt. Sie berichtet den Lernenden zunächst in einer Video-Vignette über die Landwirtschaft in Brasilien. In einem Lerntempoduett (Mattes, 2014) erarbeiten die Lernenden dann pro und contra Argumente und formulieren ihre Meinungen zu Pestiziden. Diese werden zentral in der Klasse an einem Meinungsstrahl positioniert und dienen der Überleitung zu einem Beispiel konventioneller Pestizide: Glyphosat. Dieses kann mithilfe einer Videosequenz, eines Lehrervortrags oder eines Textes erarbeitet werden. Ziel ist das Ausfüllen eines Spinnendiagramms, welches als Überleitung zum Thema Grüne Pestizide dient. Diese werden von Vânia Zuin in einem weiteren Video vorgestellt. Daraufhin wird anhand eines Textes ein zweites Spinnendiagramm für ein grünes Pestizid, das Orangenöl, durch die Lernenden ausgefüllt. Anhand des Vergleiches beider Spinnendiagramme kann auf Vor- und Nachteile konventioneller und grüner Pestizide eingegangen werden und es können Bezüge zur aktuellen Forschung der chemischen Industrie hergestellt werden. Den Kern der Unterrichtssequenz stellen die zwei Spinnendiagramme dar

(Abb. 9). Diese wurden teilweise anhand der zwölf Prinzipien Grüner Chemie (Anastas & Warner, 1998) erarbeitet und sollen auf der Grundlage einer weichen Skalierung (*trifft zu – trifft teilweise zu – trifft nicht zu*) den Lernenden Gesprächsanlässe über Unterschiede und Gemeinsamkeiten verschiedener Substanzen im Kontext einer Nachhaltigkeitsbewertung bieten. Das Bewerten von Nachhaltigkeit ist grundsätzlich aufgrund inhärenter Komplexität schwer und soll so erleichtert werden. Angelehnt ist das Spinnendiagramm an den Green Star (Ribeiro, Costa & Machado, 2010), der zur Bewertung von Reaktionswegen erarbeitet wurde. Neben Kriterien, die an den *green chemistry* Prinzipien orientiert sind, geht es um wirtschaftliche Fragen, wie die Funktionalität oder das Potenzial einer Massenproduktion. Anwendbar ist das Spinnendiagramm prinzipiell auf jede Substanz.

5.3 Ergebnisse

Der Unterricht wurde in fünf Lerngruppen durchgeführt und mittels eines Frage- und Beobachtungsbogen (Anhang VII.5,6) evaluiert. Der Fragebogen enthielt 15 Likert-Items (vierstufige Skala) und wurde mit Chemielehramtsstudierenden pilotiert.

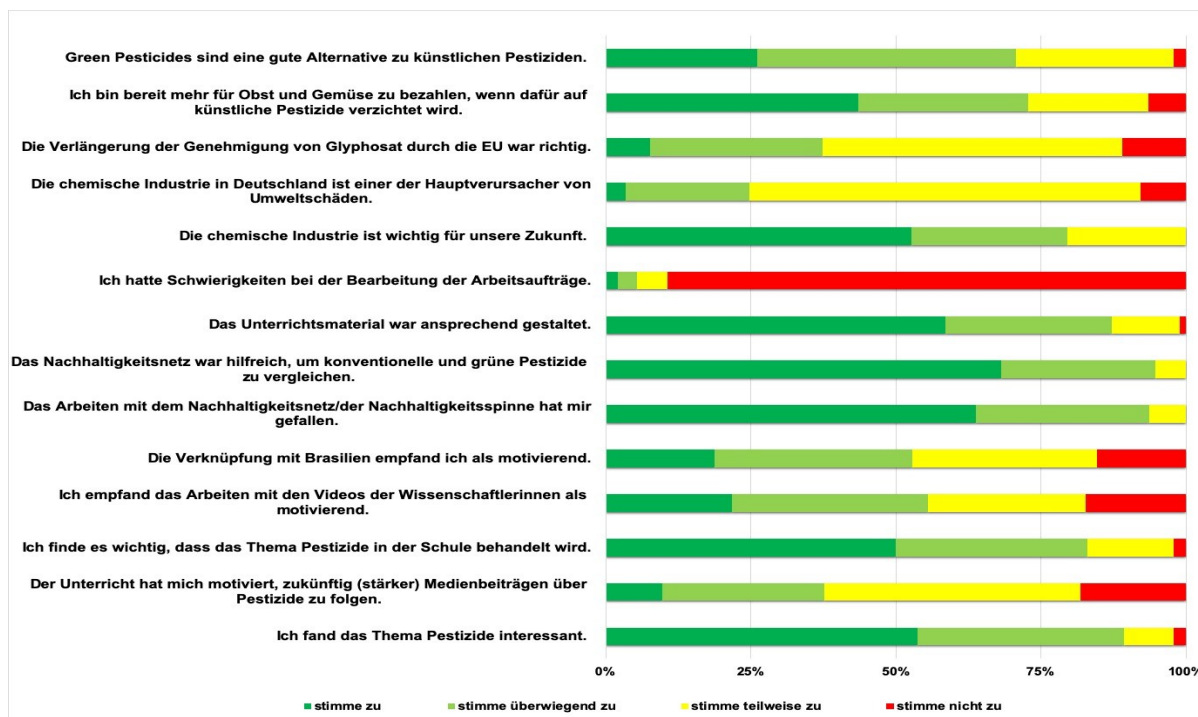


Abbildung 8 Wahrnehmung der Lernenden zum Unterrichtsmodul über grüne Pestizide (n=95)

Abbildung 11 enthält 14 der 15 Items, da die Rückmeldung zu der Frage, ob die Lernenden mochten, dass die Expertinnen Frauen waren, nur von wenigen Lernenden beantwortet wurde. Informell wurde berichtet, dass die Auswahl der Expertinnen hinsichtlich des Geschlechts keine Rolle spielt. Meinem Verständnis nach kann dies positiv interpretiert werden, nämlich, dass Lernende nicht mehr das stereotypische Bild „des Chemikers“ aufweisen (Fung, 2002). Generell empfanden die Lernenden den Unterricht als interessant und wichtig in der Schule,

wobei nur wenige sich zukünftig verstärkt mit Beiträgen auseinandersetzen werden. Über die Hälfte der Lernenden gefiel die Verknüpfung zu Brasilien und die genutzten Videovignetten. Besonders positiv schnitten die Spinnendiagramme ab, welche fast von allen Lernenden als hilfreich wahrgenommen wurden. Grundsätzlich traten nur bei wenigen Lernenden Probleme auf und das Unterrichtsmaterial wurde überwiegend als gut gestaltet empfunden. Viele der Lernenden nehmen die chemische Industrie als wichtig wahr. Die Entscheidung der EU bzgl. Glyphosat halten die meisten Lernenden für falsch, wobei gleichzeitig die meisten Lernenden bereit wären, mehr Geld für Lebensmittel auszugeben, wenn auf Pestizide verzichtet würde. Gleichzeitig halten sie Grüne Pestizide für eine gute Alternative.

Zudem enthielt der Fragebogen fünf offene Fragen. Diese wurden von zwei Codern mit Hilfe qualitativer Inhaltsanalyse (Mayring, 2015; Cohens $\kappa = .899$) analysiert. Hierfür wurden die Daten paraphrasiert, um Übersichtsthemen und Kategorien induktiv zu entwickeln. Nach zwei Runden des Codierens wurde ein Kategoriensystem pro Frage aufgestellt. Auf die Frage, was die Lernenden gelernt haben, antworteten die meisten, dass sie etwas über Alternativen zu konventionellen Pestiziden gelernt sowie Vor- und Nachteile kennengelernt hätten. Weitere Themen waren Bezüge zur Umwelt oder menschlichen Gesundheit, zur Forschung, einem gewissen Nutzen von Pestiziden oder auch das finanzielle Interesse einiger Akteure. Aspekte, die die Lernenden als positiv hervorhoben, waren vor allem die Spinnendiagramme, die Videosequenzen und eingesetzten Methoden sowie das Material, wie folgendes Zitat zeigt: „*Mir hat besonders gut mit den Schaubildern den "Spinnennetzen" gefallen, da man so sehr gut die Meinung der anderen erkennen konnte [...]*“. Von den Lernenden wurden bezüglich negativer Aspekte meist keine Antworten gegeben oder explizit geschrieben, dass nichts zu verbessern sei. Einige Lernende hätten sich mehr Fachwissen bzgl. der Wirkweise von Pestiziden gewünscht, andere kritisierten Teile der Stunde (z.B. Lerntempoduett). Die vierte Frage wurde zunächst nach Zustimmung, teilweiser Zustimmung und keiner Zustimmung kategorisiert (kein Text oder keine klare Zuordnung wurden exkludiert). Ungefähr die Hälfte der Lernenden stimmte der Aussage zu, dass Landwirtschaft nicht ohne Pestizide ginge und gaben als Gründe vor allem sinkende Ernten mit abnehmender Qualität an. Das Thema wurde ebenso mit einer wachsenden Weltbevölkerung und der Notwendigkeit zusätzlicher Forschung verbunden. Jeweils ein Viertel entfiel auf eine teilweise Zustimmung sowie auf Ablehnung. Die Argumentation war jedoch bei allen Lernenden ähnlich. Die fünfte Frage beantworteten die meisten Lernenden positiv. Es wurde besonders die Expertise sowie die Authentizität der Expertin hervorgehoben sowie der Perspektivwechsel zum Land Brasilien. Ein/e Schüler/in schrieb: „*Ich fand, dass es eine tolle Idee ist, jemanden mit einzubeziehen, der sich [...] mit dem*

Thema beschäftigt [...] sie hat einem das Gefühl gegeben, dass sie am anderen Ende des Klassenraums sitzt". Einige Lernenden nahmen die Videos positiv wahr, gaben jedoch Probleme mit der Sprache an. Nur zwei Lernende sagten an, dass sie neutral eingestellt seien und einige sagten, dass Texte die Videos ersetzen könnten. Zusätzlich zu den Fragebögen wurden die von den Lernenden ausgefüllten Spinnendiagramme vermessen und Mittelwerte der Kriterien berechnet (Abb. 9). Im Mittel füllen die Lernenden diese wie antizipiert aus, wobei Ausreißer Diskussionsanlässe bieten.

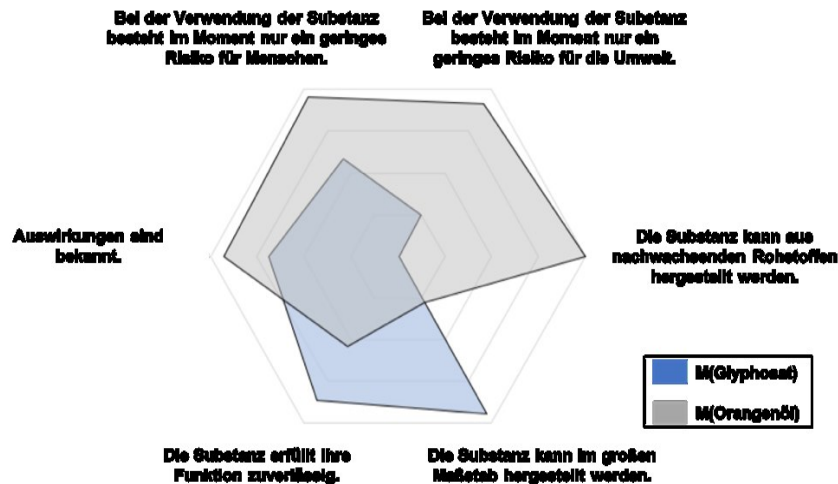


Abbildung 9 Mittelwerte der Spinnendiagramme ($n(\text{Glyphosat})=32$; $n(\text{Orangenöl})=34$)

5.4 Diskussion

Thema und Unterrichtskonzept wurden positiv von den Lernenden wahrgenommen und der Kontrast zwischen potentielltem Risiko und Nutzen der Pestizide verstanden. Die häufige Verknüpfung zu Ernten und der wachsenden Weltbevölkerung kann ein Indiz für das Erkennen einer sozialen Relevanz sein (Stuckey et al., 2013). Besonders die eingesetzten Spinnendiagramme wurden in ihrer Funktion positiv wahrgenommen. Diese bieten Anlass, die Grundsätze der gefilterten Information zu thematisieren, da alle Lernenden dieselben Informationen bekamen, doch leicht unterschiedliche Bilder entstanden (Eilks, Nielsen & Hofstein, 2014). Die Verknüpfung zu Brasilien wurde verhältnismäßig wenig wohlwollend wahrgenommen, wobei gerade in den offenen Fragen die Videos gelobt wurden. Daher scheint dieser Bezug keine zu große Bedeutung zu haben, obgleich manche Lernende dies positiv wahrnahmen. Auf Grundlage der Evaluierung kann der Unterricht positiv bewertet werden und die Spinnendiagramme scheinen eine funktionale Methode darzustellen.

Dieses Kapitel basiert auf denen in Kapitel 10, Anhang IV dargestellten Publikationen.

6. Phosphatrückgewinnung

Phosphor und Phosphat werden grundsätzlich selten in das Unterrichtsgeschehen integriert. Gegebenenfalls wird erwähnt, dass weißer Phosphor unter Wasser aufbewahrt wird oder das Anion Phosphat in Verbindung mit der Phosphorsäure in Cola thematisiert (Bello & González, 1996). Zudem wird Phosphat angesprochen, wenn es um die Nährstoffversorgung von Gewässern und in der Landwirtschaft geht, wo sich Service-Learning Projekte finden lassen (Heider, Valenti, Long, Garbou, Rex & Harper, 2018), welche ein Monitoring oder ganze Exkursionen (Schwarz, Frenzel, Richter, Täuscher & Kubsch, 2016) beschreiben. Die Themen Eutrophierung und biogeochemische Flüsse werden ausdrücklich in der Literatur als geeignet für den Chemieunterricht beschrieben (Juntunen & Aksela, 2014), was häufig darauf fokussiert, dass zu viel Phosphat in die Umwelt gelangt. Koutalidi und Scoullos (2016) hingegen empfehlen das Betrachten der Abnahme von Phosphatgestein als Thema für den Chemieunterricht. Zudem empfinden Mayer et al. (2016) es als angemessen, das Thema der Phosphatrückgewinnung einem breiten Publikum vorzustellen und in den Bildungsbereich zu integrieren. Diesen Versuch unternehmen Ißleib & Gröger (2018) in einem Service Learning Projekt.

6.1 Fachliches

2011 begann die Europäische Kommission, kritische Rohstoffe zu bestimmen, damit Versorgungs- und Handlungsstrategien entwickelt werden können. Dabei wurden 2011 14, 2014 20 und 2017 27 Rohstoffe als kritisch bezeichnet und damit auf ein (potentielles) Versorgungsrisiko bei gleichzeitiger hoher wirtschaftlicher Bedeutung hingewiesen. Seit 2014 ist Phosphatgestein Bestandteil dieser Liste (Europäische Kommission, 2017).

Die wirtschaftliche Bedeutung von Phosphaten resultiert aus der Verwendung in Düngemittel, bei denen sie ein unverzichtbarer Bestandteil für das Pflanzenwachstum sind (deutscher Verbrauch ca. 240.000 t (Statista, 2018a) - keine eigenen Vorkommen). Ein (potentielles) Versorgungsrisiko lässt sich anhand der Lage der Reserven begründen, welche zu ca. 75% in Marokko liegen (USGS, 2017). Neben Marokko sind große Förderer die USA und China, welche größtenteils aber nicht exportieren, daher könnte Marokko eine Monopolstellung im Falle einer Vorkommenserschöpfung anderer Länder zukommen. Marokkos Vorkommen liegen nicht vollständig im Land selbst, sondern teilweise in den beanspruchten Gebieten der Westsahara (Meiborg, 2016). Schätzungen zu den Reserven des Rohstoffes liegen bei ca. 320 Jahren bei steigendem Bedarf (Killiches, 2013). 2009 wurde (Cordell, Drangert & White, 2009) von einem Phosphat Peak um 2033 gesprochen, welcher angesichts einer veränderten Datenlage

bezüglich der Reserven heute unwahrscheinlich erscheint. Dabei geben Cordell & White (2011) an, dass Qualität und Zugangsmöglichkeiten zu Phosphaten in den nächsten Jahren abnehmen werden und Kosten steigen. Hiervon sind überwiegend kleinbäuerliche Betriebe und Subsistenzwirtschaft betroffen, welche Preissprünge auf den Weltmärkten nur schwer verkraften (Killiches, 2013). Heute verbrauchen die USA, China, Indien und Brasilien gemeinsam ca. 70% der Phosphatdüngemittel. Dabei sind China, welches unter Überdüngung leidet, und die USA Selbstversorger, während Indien der größte Importeur ist. China, Indien und Brasilien zeigen so, wie Düngemiteleinsatz zu einer Erhöhung landwirtschaftlicher Produktion beitragen kann. Afrika weist trotz der größten Reserven nur einen Verbrauch von 2,5% auf (Killiches, 2013). Die ProcessNet Fachgruppe Rohstoffe (2017) führte Gründe an, den Rohstoffkreislauf durch ein Recycling zu schließen: Sicherung der Rohstoffbasis – Verhinderung von Abhängigkeiten zu Lieferländern, Vorsorgender Umweltschutz – kontrollierte Rückführung von Phosphaten in die Umwelt, Zunehmender Schwermetallgehalt aus dem Phosphatabbau (v.a. Cadmium und Uran), Änderung der Klärschlammverordnung 2015 – Rückgewinnungspflicht bis 2029. Recycling kann z. B. aus Klärschlamm und seiner Asche stattfinden, welche u.a. aufgrund menschlicher Ausscheidungen viel Phosphat enthält. Klärschlamm ist ein Gemisch, welches (neben anderen Stoffen) organischem Kohlenstoff und Phosphat enthält. Die Rückgewinnungsverfahren verlaufen in ähnlichen Prozessschritten ab:

- Erniedrigung des pH-Wertes unter 5,5, um Phosphat aus dem Klärschlamm zu lösen
- Trennung fester und flüssiger Phasen – flüssige Phase wird weiterverarbeitet
- Phosphatfällung – Zugabe von Fällmittel und pH-Wert Erhöhung > 9
- Trennung fester und flüssiger Phasen – feste Phase ist Produkt, z.B. Calciumphosphat

Aktuell ist kein Verfahren in der Lage Phosphate rentabel zu recyceln, wobei die Deutsche Phosphorplattform (DPP, 2018) Kennblätter vieler Verfahren veröffentlichte (fortführend: Maurer et al., 2018; Krämer & Frank, 2019). Eine umfassendere Diskussion der Einbindung des Themas findet sich unter Zowada, Gulacar, Siol & Eilks (2019).

6.2 Implementierung

Die Thematik wurde auf unterschiedliche Weise in Deutschland und in den USA (in der College-Lehre) implementiert, weshalb dies getrennt betrachtet werden soll.

6.2.1 Deutschland

Die Implementierung des Projektes in Deutschland erfolgte im Rahmen eines Schülerlabors, indem der Fokus auf der Entwicklung von Experimenten zur Phosphatrückgewinnung aus Modellklärschlamm sowie Modellklärschlammmasche lag. Der Ablauf dieses Schülerlabors

(Abb. 10) beginnt in der Schule mit einer digitalen Lernumgebung, welche graphisch aus drei Kreisen aufgebaut ist. Die beiden äußeren Kreise (Abb. 10 oben mit Baum und Weltkugel) sollen den Kontext darstellen, wobei auf Phosphat als Ressource fokussiert wird. Die Lernumgebung ist auch einzeln im Unterricht einsetzbar (Zowada, Gulacar, Siol & Eilks, 2018). Im mittleren großen Kreis (Erlenmeyerkolben) sind einige Experimente dargestellt, sodass diese in der Schule umsetzbar sind. Die Experimente, entwickelt für einen Schülerlaborbesuch, beinhalten im Kern vier adaptierte Realverfahren aus der aktuellen Umweltforschung der Phosphatrückgewinnung. Hierbei wurde sich am Konzept einer Lernfirma orientiert (Witteck & Eilks, 2005) sowie versucht, über eine individuelle Versuchsauswahl sowie gestufte Lernhilfen zu differenzieren (Affeldt, Weitz, Siol, Markic, Eilks, 2015; Affeldt, Tolppanen, Aksela & Eilks, 2017). Zur Nachbereitung des Labortages wird empfohlen, erneut die digitale Lernumgebung zu nutzen, um die Verknüpfung zum Kontext der Phosphatrückgewinnung herzustellen.

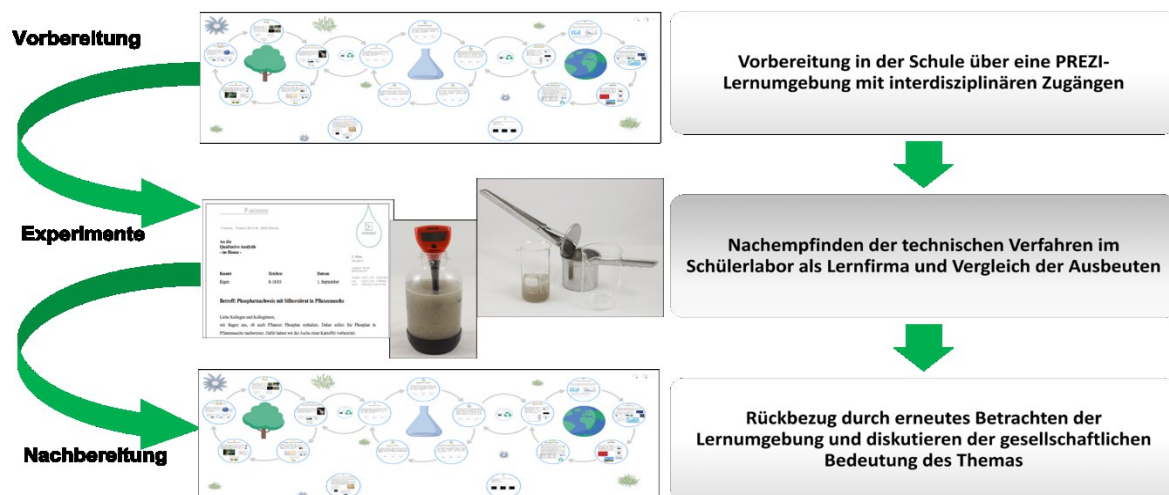


Abbildung 10 Übersicht Implementierung zu Phosphaten (deutsch)

6.2.2 USA

Die Implementation in den USA erfolgte analog zu der Einheit über Fracking (Kapitel 4) mit dem Unterschied, dass hier die Lernumgebung deutlich stärker durch die lokalen Partner verändert wurde (Kapitel 7), sodass sich das Layout völlig änderte, ebenso wie die Anordnung der verschiedenen Themen. Die Lernumgebung kann ebenso für einen bilingualen Unterricht in Deutschland verwendet werden (Zowada, Gulacar, Siol & Eilks, 2019).

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Deutschland

Das Schülerlaborangebot wurden in einigen Lerngruppen mittels Fragebogen evaluiert (fünf offene Fragen; 12 vierstufige Likert-Items), welcher in Anhang VII.7 zu finden ist. Die Likert-Items sind in Abbildung 11 abgebildet. Die Wahrnehmung ist grundsätzlich positiv, mit der

Einschränkung, dass sich wenig Lernende in Zukunft stärker für Medienbeiträge interessieren. Daneben schneiden sowohl die digitale Lernumgebung als auch die Versuche positiv ab und es werden nur wenig Schwierigkeiten wahrgenommen. Die fünf offenen Fragen beziehen sich auf Positives und Negatives zu der Laborarbeit und der digitalen Lernumgebung und wurden nach Mayring (2015) ausgewertet. Grundsätzlich unterstützen die hier gemachten Eindrücke die Likert-Items. Besonders das selbstständige Arbeiten im Labor und der Eingangsvortrag werden positiv wahrgenommen. Bezüglich der digitalen Lernumgebung loben rund die Hälfte der Lernenden Gestaltung und Übersichtlichkeit dieser. Hierbei geben rund die Hälfte der Lernenden an, dass die Texte passend und interessant seien: „*Es ist eine super Prezi, die man sehr deutlich lesen und verstehen konnte; super Übersicht zum Thema...*“. Ungefähr ein Viertel der Lernenden wünscht sich weniger Text. Bei Aspekten, die die Lernenden gelernt haben, wurde vor allem die Bedeutung des Phosphats benannt sowie auf experimentelle Fähigkeiten verwiesen.

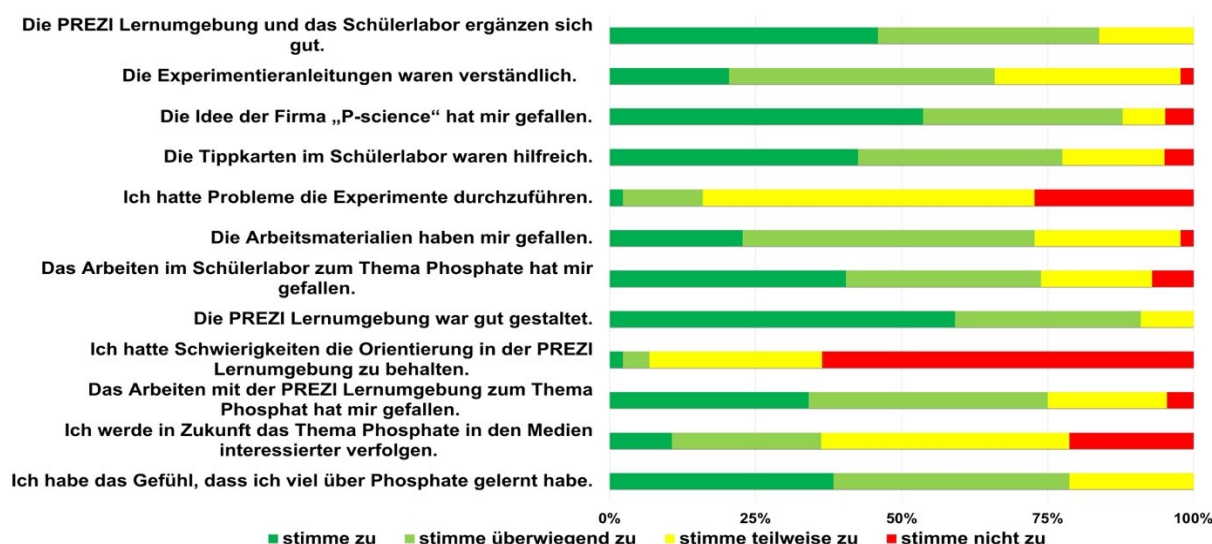


Abbildung 11 Übersicht Likert Items in deutschen Lerngruppe (n=47)

6.3.2 USA

Die Stichprobe ist vergleichbar mit der vorherigen Fallstudie zum Fracking (w=466; m=236; divers=3; keine Angabe = 4) und wurde mittels eines Fragebogens (Anhang VII.8) analysiert, der 13 vierstufig skalierte Likert-Items und vier offene Fragen enthielt. Die Ergebnisse der Likert-Items sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Ergebnisse sind vergleichbar positiv mit denen des Frackings, wobei bei einigen Items die Zustimmungswerte höher ausfallen. Zudem wurde die Bedeutung der Thematik durch die Lernenden klar herausgestellt, sie gaben mehrheitlich an, dass es sich um ein neues Thema für sie handelt, welches gut die Anwendung der modernen Chemie aufzeigt. Die offenen Fragen wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) analysiert. Auf die Frage, welche Aspekte gelernt wurden, gaben die

meisten Lernenden an, etwas über den Abbau und Recyclingmöglichkeiten gelernt zu haben. Hier verknüpften einige Studierende den Abbau mit sozialen und ökologischen Folgen oder nannten einzelne Fakten aus der Lernumgebung, wie die Geschichte der Insel Nauru. Auf die Frage, was den Lernenden durch den Kopf ging, wurden vor allem Aspekte wie die Bedeutung des Phosphats genannt, was mehrheitlich eine neue Information für viele war - dies wurde durch die Likert-Items unterstützt. Einige Studierende zeigten sich besorgt, also *“deeply concerned about the future of humanity without phosphate”*. Frage drei fokussierte auf die Bereicherung des Curriculums, wobei rund ein Viertel der ausgewerteten Antworten zeigte, dass eine Bereicherung des Curriculums gesehen wurde, wobei die Hälfte der Studierenden sagte, dass es trotzdem interessant sei: *“I don't think that recycling and mining of phosphates particularly enriches my studies as I plan on becoming a doctor, but I'm sure there must be an indirect impact on my field of interest.”*

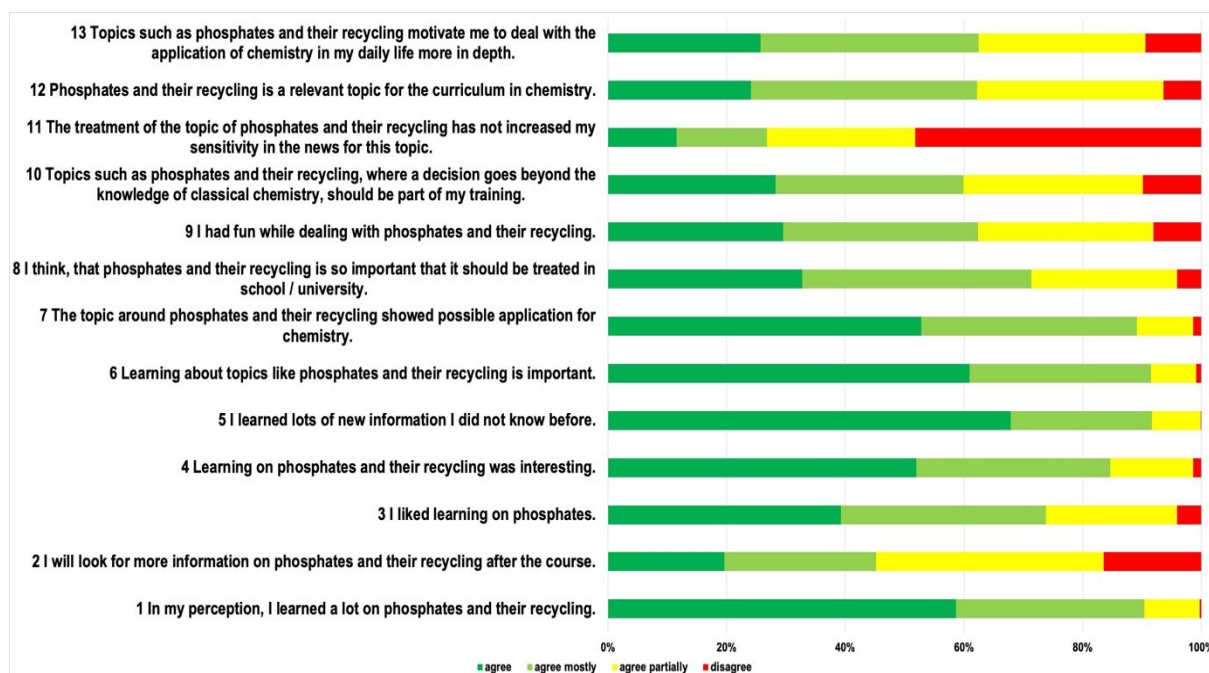


Abbildung 12 Übersicht Likert items in einer amerikanischen Lerngruppe (n=709)

Die übrigen Antworten beinhalteten, dass diese Lernumgebung ihre persönliche Lernerfahrung in Bezug auf persönliches Interesse, Wichtigkeit der Thematik, Anwendungen der Chemie oder einen breiten Überblick bereicherte: *“I did not know phosphate was critical to sustaining agriculture and everyday life to this extent as well as how quickly it is being depleted. Learning recycling of phosphate through urine or biomass was very interesting.”* Die vierte Frage, welche nach der Bedeutung des Themas fragte, obwohl es nicht im Test vorkam, wurde durch einige Studierende genau hiermit beantwortet: *“I just do not see how knowing about phosphate recycling is going to help me get a good grade on my final[...]”*. Auf der anderen Seite gaben viele Studierende an, dass die Verbindung zwischen Chemie und realer Welt wichtig sei sowie

teilweise, dass Noten nicht den wichtigsten Faktor des Studiums darstellen: *“This issue is far more important than my grade, as it impacts human survival.”*

6.4 Diskussion

Meines Wissens nach ist diese Fallstudie der erste Versuch das Thema selbst und besonders die ausgearbeiteten Versuche in den Unterricht zu integrieren. Hierbei scheint es laut den Rückmeldungen gelungen zu sein, ein harmonisches Gesamtkonzept anzufertigen, welches in der Lage ist, die wesentlichen Punkte über das Thema Phosphatrückgewinnung zu vermitteln. Sicher kann dieses Thema deutlich weitreichender betrachtet werden, was Ißleib & Gröger (2018) im Moment versuchen. Gerade Verbindungen zu einem größeren Kontext sind sicher ausbaufähig und könnten in Schulen im Rahmen einer Projektwoche erarbeitet werden. Hierfür bietet das aufgezeigte Schülerlabor gemeinsam mit der digitalen Lernumgebung eine Gelegenheit. Verbindungen zu andern Fächern können von Lehrenden hergestellt und bestenfalls in einem fächerübergreifenden Projekt thematisiert werden. Hierfür kann auch die englische Lernumgebung genutzt werden, was Möglichkeiten eines bilingualen Unterrichts eröffnet.

Bezüglich der Teilstudie in den USA konnte erneut gezeigt werden, wie kleine Elemente eines Kurses geändert und so SSI-basierte Module eingebaut werden können. Hierbei kann bspw. die Besorgnis gegenüber dem Thema, welche in einigen offenen Fragen gefunden wurde, als persönliche Verbindung zwischen Studierenden und Thema verstanden werden, was Sadler (2004) als wertvolles Interventionsergebnis ansieht. Für Einige scheint Phosphatrückgewinnung ein solches Thema zu sein. Hierbei ist klar zu erwähnen, dass, ähnlich wie beim Fracking, dieses Thema möglicherweise nicht für alle Zeit präsent bleibt, da bspw. konkrete Lösungen gefunden werden (Simmoneaux, 2014). Grundsätzlich fällt in beiden Fallstudien auf, dass Lernende sich im Anschluss an die unterrichtliche Behandlung nicht stärker mit dem Thema befassen werden, wenn es in den Medien auftaucht. Hierfür könnten zwei Gründe verantwortlich sein – zum einen könnte das Lehrmaterial als umfassend genug empfunden werden oder das Thema hat kein nachhaltiges Interesse geweckt. Letzteres könnte vor allem bei den amerikanischen Studierenden darin begründet liegen, dass viele zukünftig nicht näher in Kontakt mit Umwelttechnik kommen werden, da sie in anderen Feldern studieren. Eine mögliche, nicht untersuchte Auswirkung könnte auch eine Verbesserung des Images (Bösch, Dressel & Hopp, 2010) „der Chemie“ sein, da sie hier in Form der technischen Verfahren (potentielle) Lösungen globaler Probleme darstellt. Daher könnte dieses Thema auch mit grüner, nachhaltiger Chemie verknüpft werden.

Dieses Kapitel basiert auf denen in Kapitel 10, Anhang V dargestellten Publikationen.

7. Aktionsforschung

In dieser Arbeit wurde Aktionsforschung genutzt, welche das Potential aufweist, Probleme zu adressieren, indem ein iterativer und kollaborativer Prozess (planen, ausführen, beobachten und evaluieren) durchlaufen wird. Ziel ist das Minimieren negativer Resultate bei gleichzeitigem Maximieren positiver (Hunter, 2007). Hodson (2003; 665) sieht Aktionsforschung als *“probably the only coherent and viable way of addressing the issues of curriculum evaluation, curriculum development and professional development/teacher education that are central to the implementation of this radically new form of science education”*. Basierend auf Grundy (1982) geben Mamlok-Naaman & Eilks (2012) an, dass sich drei Wege finden lassen, wobei das Forschungsinteresse und die (vermutlichen) Implikationen für die Lehrkräfteperspektive von extern zu teilnehmend und zu einer emanzipatorischen Perspektive variieren können: *technical action research (or interactive); interactive (or participatory) action research; teacher-centered (or emancipatory) action research*. In einem analytischen Literaturüberblick geben Laudonia, Mamlok-Naaman, Abels & Eilks (2018) an, dass Aktionsforschung auf Curriculumsverbesserung abzielt und dabei für Lernende und Lehrende Vorzüge bietet, sich professionell weiterzuentwickeln.

In dieser Arbeit wurde partizipative Aktionsforschung (Abb. 13) nach Eilks & Ralle (2002) genutzt, um curriculare Innovationen zu entwickeln. Das Modell wurde bei der Entwicklung aller drei Unterrichtsmodule angewendet und dabei auf eine Gruppe von Lehrkräften zurückgegriffen, welche seit zwei Jahrzehnten besteht (Eilks & Markic, 2011) und erfahren in der Weiter- und Neuentwicklung von Unterrichtsmaterial ist. Dies zeigen zahlreiche Beispiele: Duschgels (Marks & Eilks, 2010), Klimawandel (Eilks & Feierabend, 2013) oder Tattoos (Stuckey & Eilks, 2014). Der Fokus des Modells ist dabei die Entwicklung der Unterrichtspraxis durch einen Forschungsprozess, um im Idealfall allgemeingültige Erkenntnisse für eine Weiterentwicklung von Unterricht zu generieren. So soll von existierenden Problemen ausgegangen werden, die in eine Gruppe hineingetragen werden. Der Eintrag (Abb. 13 unten) ist dabei die Erkenntnis über Lernprozesse, Lehrerfahrung, didaktische/methodische Analyse, Fachliches sowie Intuition und Kreativität aller Beteiligten. Dieses Handwerkszeug soll dabei helfen in einem bereits oben erwähnten zyklischen Prozess zu Ergebnissen (Abb.13 oben) zu gelangen, wie neuen Unterrichtsideen oder professionelleren Lehrenden (Eilks & Ralle, 2002). Ähnliche Ideen finden sich bei Bencze & Hodson (1998). Folgend soll beschrieben werden, wie versucht wurde mit diesem Modell die Lehre in den USA zu innovieren.

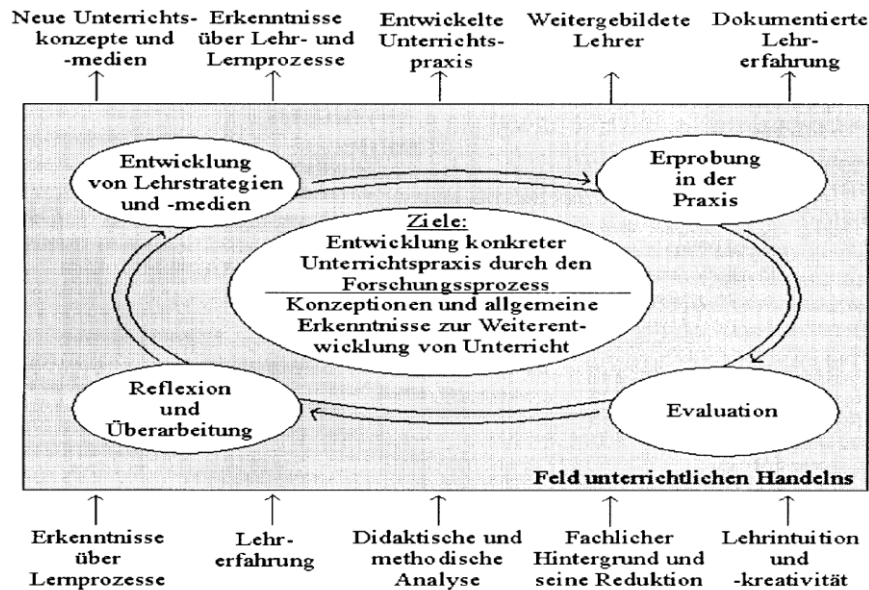


Abbildung 13 Modell Partizipativer Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002)

7.1 Aktionsforschung für Innovationen in der US-Lehre

In den USA wird *general chemistry* als Teil der Ausbildung vieler sog. *undergraduate* Studiengänge unterrichtet. Diese Kurse werden dabei nicht nur von zukünftigen Chemiker*Innen besucht, sondern von Studierenden vieler Fachrichtungen. Daher bietet dies die Chance, Studierende mit einem nötigen Grundwissen (z.B. Roberts & Bybee, 2014) zu versorgen und so auf ihre Zukunft als verantwortungsbewusste Menschen vorzubereiten. In den USA wird hier das Bild einer leckenden Pipeline bemüht, um den Mangel an Absolvent*Innen der Naturwissenschaften zu verdeutlichen (z.B. Waldrop, 2015). Die Frage ist, wie Kurse inhaltlich gestaltet sein müssten, um mehr Studierende dazu zu bringen, ihren Abschluss in den Naturwissenschaften zu machen oder welches Wissen ihnen vermittelt werden sollte. Einige Forschende (Cooper, 2010; Cooper & Klymkowsky, 2013) bemängeln, dass *general chemistry* oftmals einer *structure-to-the-discipline* Abfolge nachgeht, was bedeutet, dass im Extremfall isoliertes Fachwissen im Sinne der Struktur des Faches vermittelt wird, ohne Querverweise bzw. Lebensweltbezüge herzustellen. Probleme in der Chemielehre wurden auch von Gilbert (2006) aufgelistet, wie überladene Curricula oder das Lernen einzelner, unverbundener Fakten. Dabei zielen derartig strukturierte Kurse auf jene Studierenden ab, die später beruflich mit der Chemie zu tun haben, worauf Mahaffy (2015; S.7) entgegnet: *“overemphasis is often placed on providing all of the foundational pieces for the few students who major in chemistry, rather than for the majority of students who will pursue careers in health professions, engineering, or other areas”*. Dabei gibt es Beispiele, wie bspw. der Klimawandel (Mahaffy et al., 2017) in *general chemistry* Kurse integriert wurde. Auch der Diskurs um planetare Belastungsgrenzen und das Anthropozän wurde eingebracht (Mahaffy, 2014). Zudem gibt es weitere Argumente

(siehe Kapitel 2) dafür, die Lehre zu verändern. Neben der Integration einzelner Themen gibt es ganzheitliche, ressourcenintensive Ideen die Kursstruktur zu ändern (*Chemical Thinking*; Talanquer & Pollard, 2017 oder CLUE (Cooper & Klymkowsky, 2013)). Aus den genannten Problemen erwuchs eine Idee, einzelne Aspekte in der Lehre von *general chemistry* zu verändern, indem SSIs eingebunden wurden. Diese Einbindung war nicht so ressourcenintensiv und verlief unter einem vertretbaren Aufwand. Der Ablauf ist in Abbildung 14 dargestellt. Zunächst war eine Unzufriedenheit mit der eigenen Lehre beim lokalen Partner (USA) zu finden, welcher nach einer Veränderung und stärkeren Verbindung zur Lebenswelt suchte. Daher wurde in der ersten Fallstudie (Fracking; 3) das meiste durch die externen Partner (Deutschland) übernommen und vor allem sprachliche Verbesserungen durch die lokalen Partner eingearbeitet. Die Lernumgebungen wurden mittels Videokonferenzen vorgestellt und besprochen, bis ein gutes Ergebnis erreicht wurde, wobei kritische Punkte angesprochen und gemeinsam behoben wurden. Dies geschah in mehreren Zyklen. Durch die positive Rückmeldung der ersten Fallstudie wurde eine zweite Fallstudie umgesetzt (Phosphatrückgewinnung; 4) und der Wille, mehr SSI-basierte Unterrichtssequenzen einzubauen, stieg. Der grundsätzliche Prozess war der Gleiche, doch war diesmal die Einbindung des lokalen Partners deutlich größer, sodass bspw. das Layout geändert und die Implementation allein durch den lokalen Partner in Rücksprache mit den externen Partnern erarbeitet wurde. Die erneute positive Rückmeldung führte zu einer stärkeren Änderung der Ansichten des lokalen Partners, sodass dies als innovativer Prozess der Professionalisierung verstanden werden kann, wie er im Kontext dieser Forschung bei einer Gruppe von Lehrkräften zu beobachten war (Eilks & Markic, 2011; Eilks, 2018). Darüber hinaus führte diese Zusammenarbeit zu eigenen Projekten, die zukünftig umgesetzt werden. Durch diese Arbeit wurde der lokale Partner ermutigt, neue Ideen umzusetzen und in neuen Wegen zu denken. Dies kann als eine Stärkung des lokalen Partners verstanden werden, der sich nun der Lage sieht, eigenständig seine Lehre zu hinterfragen. Dieser Prozess ist vergleichbar mit Laudonia und Eilks (2018).

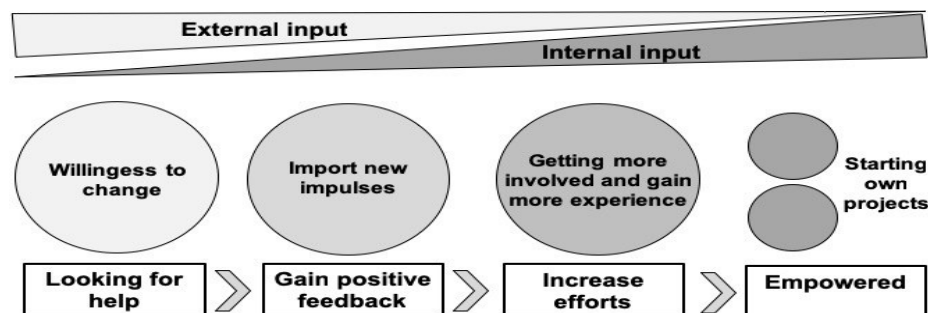


Abbildung 14 Visualisierung des Emanzipationsprozesses aus Perspektive lokaler Partner
Dieses Kapitel basiert auf der in Kapitel 10, Anhang VI dargestellten Publikation.

8. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Fallstudien zeigen, dass chemisch-technische Entwicklungen wie Fracking, Phosphatrückgewinnung oder Pestizideinsatz geographische Aspekte haben, deren Berücksichtigung im Sinne von BnE, SDGs oder planetarer Leitplanken die Lehre durch ihre Existenz bereichern und so womöglich das Verständnis für Nachhaltigkeit erweitern können. Der Einsatz einer geographischen Perspektive ist möglich, wenn natürliche und/oder vom Menschen beeinflusste Aspekte der Natur den Raum und das Leben in dieser Welt lokal, national und/oder global beeinflussen. Die Didaktik der Chemie im deutschsprachigen Raum und darüber hinaus tut sich weiterhin schwer mit der Einbeziehung einer fundierten Behandlung ihrer sozialen Dimension (Hofstein et al., 2011), was auch die Ergebnisse der Interviewstudie zeigen, wobei auch hier auf die kleine Stichprobe verwiesen werden muss. Die meisten Herausforderungen der Nachhaltigkeitsdebatte lassen sich nicht ohne die Chemie lösen (Matlin et al., 2015), weshalb eine nachhaltigkeitsorientierte Bildung auf fundiertem, wissenschaftlichem Wissen und Verständnis aufbauen sollte. Es zeigt sich aber auch, dass Themen, die aus den SDGs oder planetaren Leitplanken resultieren, nicht nur mit einer „chemischen“ Perspektiven ganzheitlich zu verstehen sind. Der naturwissenschaftliche Unterricht braucht mehr soziale Perspektiven (Hofstein et al., 2011), wenn er zu einer relevanten BnE beitragen will. Dabei kann die Chemie von der Geographie mit ihren Ansätzen zur Gesellschaft-Umwelt-Forschung und den Raumbeziehungen im Allgemeinen profitieren. Gleichzeitig bietet die Geographie zahlreiche Berührungspunkte wie die Bodengeographie oder die interdisziplinäre Agrargeographie; weitere Ideen und Ansätze konnte die Interviewstudie aufzeigen. So können ökologische, ökonomische, soziale und politische Entwicklungsdimensionen konsequent herausgearbeitet werden. Dieser Eindruck wird auch durch diese Interviewstudie untermauert, in der die Lehrkräfte mehrere sich überschneidende Themen wie den Klimawandel oder verschiedene Ressourcen benennen und Vorteile wie einen ganzheitlicheren Unterricht hervorheben. Zum anderen fordern sie Material und sehen den Zeitfaktor als einen der wichtigsten hemmenden Punkte an. Die drei vorgestellten Fallstudien veranschaulichen, wie der Chemieunterricht im Hinblick auf geographische Fragen erweitert werden kann und wie geographische Bezüge direkt in den Chemieunterricht integriert werden können. Dies sollte zum Denken über Fächergrenzen motivieren und Denkanstöße liefern, wie andere Fachperspektiven integriert werden könnten.

Der Ansatz, eine geographische Perspektive in den Chemieunterricht zu integrieren, wurde von den meisten Lehrkräften positiv bewertet, und auch die durchgeführten Fallstudien zeigten positive Ergebnisse. Daher könnte sich die zukünftige Forschung darauf konzentrieren,

Lehrmaterial zu entwickeln, die solche Ansichten integrieren. Dabei sind Faktoren wie Zeit und die Anpassung an den Lehrplan ebenso wichtig wie die Überwindung struktureller Hindernisse. Themen der Interviewstudie, wie Elektromobilität oder bestimmte Ressourcenkonflikte, könnten hier Anknüpfungspunkte sein. Darüber hinaus stimmen alle beschriebenen Ergebnisse mit früheren Forschungsergebnissen über die Ansichten der Lehrkräfte zum interdisziplinären Unterricht überein, obwohl der hier vorgestellte Ansatz als intradisziplinärer Unterricht verstanden werden kann (Labudde, 2014). Langfristig könnte auch der umgekehrte Blick in das Visier genommen und geprüft werden, inwieweit der Geographieunterricht von einer chemischen Perspektive profitieren könnte.

Ausblickend könnte ein klarer Bezug zur Systemkompetenz (Mehren et al., 2016) oder einer *scientific literacy* hergestellt werden, wie bereits in Kapitel 2 angedeutet. Ebenso könnte transformatives Lernen stärker forciert werden, was im Sinne einer transformativen Lerntheorie verstanden werden kann, welche *“refers essentially to a qualitative shift in perception and meaning making on the part of the learner in a particular learning experience such that the learner questions or reframes his/her assumptions or habits of thought”* (Sterling, 2010-11; 19), wobei Sterling einen Bezug zu Mezirow (1978) herstellt. Unter Bezug auf Mezirow (2000) gibt Rieckmann (2018; 49) an, dass transformatives Lernen eher durch Ziele und Prinzipien definiert wird, als bei einer konkreten Unterrichts- oder Lernstrategie. Diese Ziele und Prinzipien könnten die Ausgangslage neuer Unterrichtsideen sein.

Natürlich könnten auch weitere Themen aufgearbeitet werden. Hierbei ist aus einer persönlichen Perspektive darauf zu achten, dass ein klarer Lernplanbezug herstellbar ist, sodass eine Akzeptanz unter Lehrkräften einfach erreicht werden kann. Mögliche Themen können aus der Interviewstudie abgeleitet werden. Viele Themen, wie beispielsweise Elektromobilität, geben dabei sicher eher Anlass zu einem Projektlernen und sind eher schwer in den Fachunterricht zu integrieren, wie er aktuell in allgemeinbildenden Schulen praktiziert wird. Hiermit können auch Bezüge zu Globalem Lernen hergestellt werden (Scheunpflug & Uphues, 2010; Härtig, Bernholt & Schroeter, 2014), welches eng mit BnE verknüpft ist. Zudem könnten Bezüge zu Umweltbildung (Dillon, 2014) oder *earth science* (Orion & Libarkin, 2014) hergestellt werden.

Aus meiner persönlichen Perspektive ist es wichtig, Themen der BnE verstärkt in Schule zu integrieren, um wesentliche Entwicklungen dieser Welt aufzuzeigen und die Schüler*Innen auf ein Leben in einer sich ständig veränderten Welt vorzubereiten, und zwar in einer Welt, in der scheinbar immer mehr Menschen monokausale Antworten auf multikausale Probleme fordern. Hier scheint es wichtig aufzuzeigen, dass die Welt vielleicht doch nicht so simpel ist.

9. Literaturverzeichnis

- Adams, J.; Avraamidou, L.; Bayram-Jacobs, D.; Boujaoude, S.; Bryan, L.; Christodoulou, A.; ... & Zembal-Saul, C. (2018). *The Role of Science Education in a Changing World*. Lorentz Center, Netherlands.
- Affeldt, F.; Tolppanen, S.; Aksela, M. & Eilks, I. (2017). The potential of non-formal chemistry education for curriculum development and innovation - A perspective based on two cases from Finland and Germany. *Chemistry Education Research and Practice*, 18, 13-25.
- Affeldt, F.; Weitz, K.; Siol, A.; Markic, S. & Eilks, I. (2015). A non-formal student laboratory as a place for innovation in education for sustainability for all students. *Education Science*, 5, 238-254.
- Aguirre, J. & Speer, N. M. (2000). Examining the Relationship Between Beliefs and Goals in Teacher Practice. *Journal of Mathematical Behavior*, 18(3), 327-356.
- Aikenhead, G. S. (2003). STS Education: A rose by any other name. In R. Cross (Hrsg.), *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter J. Fensham*. London, New York: Routledge Press, 59-75
- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. New York: Teachers College Press.
- Allsop, M.; Huxdorff, C.; Johnston, P.; Santillo, D. & Thompson, K. (2015). *Pestizide und unsere Gesundheit – Die Sorge wächst*. www.weltagrarbericht.de/fileadmin/files/weltagrarbericht/Weltagrarbericht/03Gesundheit/2015GreenpeacePestizide.pdf (01.06.2019).
- American Chemical Society (2019). *The Science and Technology of Hydraulic Fracturing*. Online: www.acs.org/content/acs/en/policy/publicpolicies/sustainability/hydraulic-fracturing-statement.html (01.06.2019).
- Anastas, P. T. & Warner C. J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Anastas, P. T. & Zimmermann, J. B. (2018). The United Nations Sustainability Goals: How Can Sustainable Chemistry Contribute?. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 150-153.
- Andreotti, G.; Koutros, S.; Hofmann, J. N.; Sandler, D. P.; Lubin, J. H.; Lynch, C. H.; Lerro, C. C.; De Roos, A. J.; Parks, C. G.; Alavanja, M. C.; Silverman, D. T & Beane Freeman, L. E. (2018). Glyphosate Use and Cancer Incidence in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute*, 110 (5), 509-516.
- Bahr, M. (2004). Fächerübergreifender Unterricht. *Praxis Geographie*, 34(1), 4-7.
- Baumert, J.; Klieme, E.; Neubrand, M.; Prenzel, M.; Schiefele, U.; Schneider, W.; Stannat, P.; Tillmann, K.-J. & Weiß, M. (Hrsg.) (2001). *PISA 2000 – Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. Opladen: Leske+Budrich.
- Beckmann, M. & Haack, K.-J. (2003). Chemische Schädlingsbekämpfung – Insektizide für die Landwirtschaft. *Chemie in unserer Zeit*, 37, 88-97.
- Bedehäsing, J. & Padberg, S. (2017) Globale Krise, Große Transformation, Change Agents: Heiße Eisen für die Geographiedidaktik?. *GW-Unterricht*, 146(2), 19-31.
- Bello, M A. & González, A. G. (1996): Determination of Phosphate in Cola Beverages Using Nonsuppressed Ion Chromatography - An Experiment Introducing Ion Chromatography for Quantitative Analysis. *Journal of Chemical Education*, 73(12), 1174-1175.
- Bencze, J. L. (2019). *STEPWISE – Theoretical Framework – Description and rationale*. webpace.oise.utoronto.ca/~benczela/STEPWISE_Framework.html#Principles (01.06.2019).
- Bencze, J. L. & Hodson, D. (1998). Changing Practice by Changing Practice: Toward More Authentic Science and Science Curriculum Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(5), 521-539.
- Bennett, J.; Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing Science to Life: A Synthesis of the Research Evidence on the Effects of Context-Based and STS Approaches to Science Teaching. *Science Education*, 91(3), 347-370.

- Bergmüller, C. & Schwarz, H.W. (2016). Zielsetzung: Große Transformation – Darstellung und Diskussion des WBGU-Ansatzes. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 39(1), 9-12.
- Bösch, S.; Dressel, K. & Hopp, M. (2010). Chemie im Alltag - Eine repräsentative Befragung deutscher Verbraucherinnen und Verbraucher. In Epp, A.; Hertel, R. F. & Böhl, G.-F. (Hrsg.). *Chemie im Alltag - Eine repräsentative Befragung deutscher Verbraucherinnen und Verbraucher*. Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung.
- Brock, A. (2017). Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. www.bne-portal.de/sites/default/files/downloads/WAP_BNE_executive_summary_schule.pdf (01.06.2019).
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2012). *Schieferöl und Schiefergas in Deutschland – Potenziale und Umweltaspekte*. Hannover. Online: www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Abschlussbericht_13MB_Schieferoel_gaspotenzial_Deutschland_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (01.06.2019).
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2016a). *Spezial – Pflanzenschutzmittel*. www.bfr.bund.de/cm/350/bfr-verbrauchermonitor-2016-spezial-pflanzenschutzmittel.pdf (01.06.2019).
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) (2016b). *Fragen und Antworten zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos von Glyphosat*. mobil.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zur-bewertung-des-gesundheitlichen-risikos-von-glyphosat.pdf (01.06.2019).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017b). Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln. www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf?__blob=publicationFile (01.06.2019)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2018). Pflanzenschutzmittel. bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Pflanzenschutz/_Texte/DossierPflanzenschutzmittel.html (15.12.2018)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2018). *Glyphosat*. bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Pflanzenschutz/_Texte/DossierPflanzenschutzmittel.html?notFirst=true&docId=5305986#doc5305986bodyText2 (15.12.2018)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.) (2017a). *Rückstände von Pflanzenschutzmitteln- Gesundheit geht vor*. BMEL: Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2012): *Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten – Kurzfassung*. Berlin. Online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/k4346.pdf (01.06.2019).
- Bundestag (2016). *Unkonventionelles Fracking wird verboten*. www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2016/kw25-de-fracking/429014 (01.06.2019).
- Burmeister, M.; Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 59-68.
- Bybee, R. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond?. *The American Biology Teacher*, 53 (3, März), 146-153.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Houghton Mifflin Co.: Boston, USA.
- Ciriminna, R.; Meneguzzo, F. & Pagliaro, M. (2017). Orange Oil. In L. M. L. Nollet. & H. R. Rathore (Hrsg.), *Green Pesticide Handbook – Essential Oils for Pest Control*. CRC Press: Boca Raton, 291-398.
- Cooper, M. (2010). The case for reform of the undergraduate general chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 87, 231-232.
- Cooper, M. & Klymkowsky, M. (2013). Chemistry, life, the universe, and everything: a new approach to general chemistry, and a model for curriculum reform. *Journal of Chemical Education*, 90, 1116-1122.
- Cordell D. & White, S. (2011). Peak phosphorus: Clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. *Sustainability*, 33, 2027-2049.

- Cordell, D.; Drangert, J.-O. & White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought, *Global Environment Change*, 19, 292-305.
- Crutzen, P. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415, 23.
- Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. (2000). The “Anthropocene”. *IGBP Newsletter*, 41, 17.
- Czerniak, C. M. & Johnson, C. C. (2014). Interdisciplinary Science Teaching. In N. G. Lederman, & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research in science education* (Vol. 2). New York: Routledge, 395-411.
- Czerniak, C. M.; Lumpe, A. T. & Haney, J. J. (1999). Science Teachers' Beliefs and Intentions to Implement Thematic Units. *Journal of Science Teacher Education*, 10(2), 123-145.
- Davis, E. J.; Pauls, S. & Dick, J. (2017). Project-Based Learning in Undergraduate Environmental Chemistry Laboratory: Using EPA Methods To Guide Student Method Development for Pesticide Quantitation. *Journal of Chemical Education*, 94, 451–457.
- de Haan, G.; Kamp, G.; Lerch, A.; Martignon, L.; Müller-Christ, G. & Nutzinger, H.G. (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit – Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen*. Heidelberg & Berlin: Springer Verlag.
- Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG) (2017). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Schulabschluss*. Bonn: DGfG.
- Deutsche Phosphor Plattform (DPP) (2018). *Kennblätter Phosphorrückgewinnungsverfahren*. www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/ (01.06.2019).
- Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (DUK) (2014). *UNESCO Roadmap zur Umsetzung des Aktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. Bonn: DUK.
- Dillon, J. (2014). Environmental Education. In N. G. Lederman, & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research in science education* (Vol. 2). New York: Routledge, 497-514.
- Eilks, I. (2018). Action research in science education: a twenty-years personal perspective. *Action Research and Innovation in Science Education*, 1(1), 3-14.
- Eilks, I. & Feierabend, T. (2013). Developing the curriculum by Participatory Action Research – An interdisciplinary project on climate change. In T. Plomp & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational design research: introduction and illustrative cases*. Enschede: SLO., 321-338.
- Eilks, I. & Hofstein, A. (2014). Combining the question of the relevance of science education with the idea of education for sustainable development. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.), *Science education research and education for sustainable development*, Aachen: Shaker, 3-14.
- Eilks, I. & Markic, S. (2011). Effects of a long-term Participatory Action Research project on science teachers' professional development. *Eurasia Journal Mathematics, Science and Technology Education*, 7(3), 149-160.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung – Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *Chemie konkret*, 9(1), 13-18.
- Eilks, I. & Rauch, F. (2012). Sustainable development and green chemistry in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(2) 57-58.
- Eilks, I. & Zuin, V. (2018). Editorial Overview: Green and Sustainable Chemistry Education (GSCE): Lessons to be learnt for a safer, healthier and fairer world today and tomorrow. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, A4-A6.
- Eilks, I.; Marks, R. & Stuckey, M. (2016). Das gesellschaftskritisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65(5), 33-37.
- Eilks, I.; Nielsen, J. A. & Hofstein, A. (2014). Learning about the role of science in public debate as an essential component of scientific literacy. In A. Tiberghien; C. Bruguière & P. Clément (Hrsg.), *Topics and trends in current science education*. Dordrecht: Springer, 85-100.
- Elmose, S. & Roth, W.-M. (2005). Allgemeinbildung: readiness for living in risk society. *Journal of Curriculum Studies*, 37(1), 11–34.
- Engagement Global (Hrsg.) (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Bonn: Cornelsen.
- Ericsson, K. A.; Krampe, R. T. & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363-406.

- Europäische Union (2009). RICHTLINIE 2009/128/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:de:PDF> (01.06.2019).
- European Commission (2017). Study on the review of the list of Critical Raw Materials. (2017). publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en (01.06.2019).
- Exxon Mobil (2016). *Erdgassuche in Deutschland*. Online: <http://erdgassuche-in-deutschland.de/> (4.3.2016).
- Feierabend, T. & Eilks, I. (2011). Teaching the societal dimension of chemistry using a socio-critical, problem-oriented lesson plan based on bioethanol usage. *Journal of Chemical Education*, 88(9), 1250-1256.
- Felton, D. E.; Ederer, M.; Steffens, T.; Hartzell, P. L. & Waynant, K. V. (2018). UV-Vis Spectrophotometric Analysis and Quantification of Glyphosate for an Interdisciplinary Undergraduate Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 95, 136-140.
- Forster, D. & Perks, J. (2012): *Climate impact of potential shale gas production in the EU*. http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/docs/120815_final_report_en.pdf (01.06.2019).
- Frimmel, F. H.; Ewers, U.; Schmitt-Jansen, M.; Gordalla, B. & Altenburger, R. (2012): *Toxikologische Bewertung von Fracking-Fluiden. Wasser und Abfall*, 6, 22-29.
- Fung, Y. Y. (2002). A comparative study of primary and secondary school students' images of scientists. *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 199-213.
- Gans, P. & Hemmer, I. (Hrsg.) (2015). *Zum Image der Geographie in Deutschland – Ergebnisse einer empirischen Studie*. Leipzig: Leibniz-Institut für Länderkunde.
- Gebhardt, H. (2016). Das „Anthropozän“ - zur Konjunktur eines Begriffs. In M. Wink & J. Funke (Hrsg.), *Stabilität im Wandel*. Heidelberg: Heidelberg University Publishing, Band 1, 28-43.
- Gebhardt, H.; Glaser, R.; Radtke, U. & Reuber, P. (2011). *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg: Spektrum.
- Gent, R. & Dechet, F. (2001). Pflanzenschutzmittel und Naturhaushalt: Prüfung, Gefährdungsabschätzung und Risikobeurteilung. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 50(2), 6-14.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 957-976.
- Gläser, J. & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. 4. Auflage. VS Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden.
- Griggs, D.; Stafford-Smith, M.; Gaffney, O.; Rockström, J.; Öhman, M. C.; Shyamsundar, P.; Steffen, W.; Glaser, G.; Kanie, N. & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305-307.
- Grindsted, T. S. (2015). The matter of geography in education for sustainable development: the case of Danish university geography. In W. Leal Filho (Hrsg.), *Transformative approaches to sustainable development at universities*. Cham: Springer, 13-24.
- Grundy, S. (1982). Three Modes of Action Research. *Curriculum Perspectives*, 2(3), 23-34.
- Guest, G.; MacQueen, K. & Namey, E. (2012). *Applied Thematic Analysis*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Habig, S.; Blankenburg, J.; van Vorst, H.; Fechner, S.; Parchmann, I. & Sumfleth, E. (2018). Context characteristics and their effects on students' situational interest in chemistry. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1154-1175.
- Habrich-Böcker, C.; Kirchner, B. C. & Weißenberg, P. (2014): *Fracking – Die neue Produktionsgeografie*. Springer Gabler. Wiesbaden.
- Härtig, H.; Bernholt, S. & Schroeter, B. (2014). Globale Entwicklung als Lernbereich in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 3, 22-27.

- Häsing, P. (2009). *Fächerübergreifender Unterricht in der gymnasialen Oberstufe aus Sicht der Lehrender – eine qualitative Studie. Dissertation*, University of Kassel, Kassel: kassel university press GmbH.
- Hastik, R.; Fernandez-Delgado Juarez, M.; Moya, L.; Präg, N.; Probst, M.; Rofner, C.; Walter, A. & Insam, H. (2013). Vom stummen Frühling zum langen Winter? - 50 Jahre Kontroverse über die Verwendung von Pestiziden und deren Folgen für Mensch und Umwelt. *GW-Unterricht*, 130, 5-14.
- Hawkes J., (2001). *The fourth pillar of sustainability: culture's essential role in public planning*. Melbourne: Common Ground.
- Heider, E. C.; Valenti, D.; Long, R. K.; Garbou, A.; Rex, M. & Harper, J. K. (2018). Quantifying Sucralose in a Water-Treatment Wetlands: Service-Learning in the Analytical Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 95, 535–542.
- Hemmer, I. & Hemmer, M. (2017). Teachers' Interests in Geography Topics and Regions – How they Differ from Students' Interests? Empirical Findings. *Review of International Geographical Education Online*, 7(1), 9-23.
- Henningsen, M. (2003). Pilzbekämpfung in der Landwirtschaft – Moderne Fungizide. *Chemie in unserer Zeit*, 37, 98-111.
- Hlawatsch, S.; Parchmann, I. & Venke, S. (2005). Chemieunterricht im Kontext des Gesteinskreislauf. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie in der Schule*, 86(16), 8-11.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645-670.
- Hoeg, D.; DiGiacomo, A.; El Halwany, S.; Kirstovic, M.; Phillips-MacNeil, C.; Milanovic, M.; Nishizawa, T.; Majd Zouda, M. & Bencze, L. (2017). Science for Citizenship: Using Prezi™ for Education About Critical Socio-scientific Issues. In L. Bencze (Hrsg.), *Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments. Cultural Studies of Science Education 14*. Cham: Springer, 359-380.
- Hofstein, A.; Eilks, I. & Bybee, R. (2011). Societal Issues and their importance for contemporary science education – a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459-1483.
- Holbrook, J. (2017). 21st century skills and science learning environments. In Taber, K. S.; & Akpan, B. (Hrsg.), *Science Education - An International Course Companion*. London: Sense Publishers 385-401.
- Holbrook, J. & Rannikmae, M. (2007). The Nature of Science Education for Enhancing Scientific Literacy. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1347–1362.
- Holbrook, J. & Rannikmae, M. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 275-288.
- Hopf, C. & Schmidt, C. (1993). Zum Verhältnis von innerfamiliären sozialen Erfahrungen, Persönlichkeitsentwicklung und politischen Orientierungen: Dokumentation und Erörterung des methodischen Vorgehens in einer Studie zu diesem Thema. www.ssoar.info/ssoar/handle/document/45614 (01.06.2019).
- Hoppe, W. (2014). Fracking in Deutschland – Diskursanalyse eines raumbezogenen Konflikts. *Praxis Geographie*, 9, 34-39.
- Howarth, R. W.; Ingraffea, A. & Engelder, T. (2011). Natural gas: Should fracking stop?. *Nature*, 477, 271-275.
- Hunter, W. (2007). Action Research. In G. M. Bodner & M. Orgill (Hrsg.), *Theoretical Frameworks for Research in Chemistry/Science Education*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 146-164.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). www.ipcc.ch/ (01.06.2019).
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (2016). *Glyphosate*. /monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono112-10.pdf (01.06.2019).
- Ißleib, J. & Gröger, M. (2018). Service-Learning Within the Planetary Boundary "Loss of Phosphorus". In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.), *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability*, Aachen: Shaker, 327-330.
- Jegstad, K. M. & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry Teaching for the Future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655-683.

- Jenkins, E. W. & Nelson, N. W. (2005). Important but not for me: studentss attitudes towards secondary school science in England. *Research in Science and Technology Education*, 23 (1), 41–57.
- Joppich, A. & Uhlenwinkel A. (2017). Fächerübergreifender Unterricht zur Nachhaltigkeit: wissens- oder verhaltensorientiert?. *GW-Unterricht*, 145(1), 18-27.
- Juntunen, M. K. & Aksela, M. K. (2014). Education for sustainable development in chemistry – challenges, possibilities and pedagogical models in Finland and elsewhere. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 488-500.
- Kahn, S.; & Zeidler, D. L. (2016). Using our Heads and HARTSS*: Developing Perspective-Taking Skills for Socioscientific Reasoning (*Humanities, ARTs, and Social Sciences). *Journal of Science Teacher Education*. 27(3), 261-281.
- Kegley, S.; Stacy, A. M. & Carroll, M. K. (1996). Environmental Chemistry in the General ChemistryLaboratory, Part I: A Context-Based Approach To Teaching Chemistry. *The Chemical Educator*, 1(4), 1-14.
- Killiches, F. (2013) *Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit*. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Hannover, im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).
- Klafki, W. (2000). The significance of classical theories of Bildung for a contemporary concept of Allgemeinbildung. In I. Westbury, S. Hopmann, & K. Riquarts (Hrsg.), *Teaching as a reflective practice: The German Didaktik tradition*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 85–108.
- Kolstø, S. D. (2001). ‘To trust or not to trust, . . .’- pupils’ ways of judging information encountered in a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 23(9), 877-901.
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2017). *Zur Situation und zu Perspektiven für nachhaltige Entwicklung*. www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf (01.06.2019).
- Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2004). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Wolters Kluwer.
- Kosinowski, M. (2016). Erdgas-Fracking – eine umstrittene Methode. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65(3), 20-24.
- Koutalidi, S. & Scoullou, M. (2016). Biogeochemical cycles for combining chemical knowledge and ESD issues in Greek secondary schools part I: designing the didactic materials. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 10-23.
- Krämer, J. & Frank, D. (2019). Phosphor zurückgewinnen. *Nachrichten aus der Chemie*, 67, 26-29.
- Krause, M. & Eilks, I. (2014). Innovating chemistry learning with PREZI, *Chemistry in Action*, 104 (Winter), 19-25.
- Kühler, T. & Zaller, J. G. (2018). Die Diskussion um Glyphosat ist nicht sachlich – Entscheidungen nach dem Vorsorgeprinzip sind gefordert. *Nachrichten aus der Chemie*, 66, 992-993.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht – Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 20(1), 11-19.
- Lampert, I. & Niebert, K. (2018). Alltagsvorstellungen zu den planetaren Belastungsgrenzen. In M. Hammann & M. Lindner (Hrsg.), *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*. Innsbruck: Studienverlag Ges.m.b.H., 15-30.
- Laudonia, I. & Eilks, I. (2018). Teacher-centered action research in a remote participatory environment – A reflection on a case of chemistry curriculum innovation in a Swiss vocational school. In J. Calder and J. Foletta (Hrsg.), *Participatory Action Research (PAR): Principles, approaches and applications*. Hauppauge: Nova, 215-231.
- Laudonia, I.; Mamlok-Naaman, R.; Abels, S. & Eilks, I. (2018). Action research in science education - an analytical review of the literature. *Educational Action Research*, 26(3), 480-495.
- Leinfelder, R. (2018). Nachhaltigkeitsbildung im Anthropozän – Herausforderungen und Anregungen. In LernortLabor (Hrsg.), *MINT.Nachhaltigkeitsbildung in Schülerlaboren*. Dänischenhagen: LernortLabor, 130-141.

- Leinfelder, R. & Niebert, K. (2018). Willkommen im Anthropozän. *Umwelt aktuell*, 3, 8-9.
- Lethmate, J. (2006). Experimentelle Lehrformen und Scientific Literacy. *Praxis Geographie*, 11, 4-11.
- Levinson, R. (2013) Practice and theory of socio-scientific issues: an authentic model?, *Studies in Science Education*, 49(1), 99-116,
- Lewis, S. L. & Maslin, M. A. (2015). Defining the Anthropocene. *Nature*, 519, 171-180.
- Lombardi, D.; Bickel, E. S.; Bailey, J. M. & Burrell S. (2018). High school students' evaluations, plausibility (re) appraisals, and knowledge about topics in Earth science. *Science Education*, 102, 153-177.
- Mahaffy, P. G. (2014). Telling time: chemistry education in the anthropocene epoch. *Journal of Chemical Education*, 91, 463-465.
- Mahaffy, P. G. (2015). Chemistry Education and Human Activity. In J. Garcia-Martinez & E. Serrano (Hrsg.), *Chemistry education: best practices, innovative strategies and new technologies*. Weinheim: Wiley VCH, 3-26.
- Mahaffy, P. G.; Holme, T. A.; Martin-Visscher, L.; Martin, B. E.; Versprille, A.; Kirchhoff, M.; McKenzie, L. & Towns M. (2017). Beyond "inert" ideas to teaching general chemistry from rich contexts: visualizing the chemistry of climate change (VC3). *Journal of Chemical Education*, 94, 1027-1035.
- Mahaffy, P. G.; Krief, A.; Hopf, H.; Mehta, G. & Matlin, S. A. (2018). Reorienting chemistry education through systems thinking. *Nature Reviews Chemistry*, 2(0126), 1-3.
- Malm, A. & Hornborg, A. (2014). The geology of mankind? A critique of the Anthropocene narrative. *The Anthropocene Review*, 1(1), 62-69.
- Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I (2012). "Different Types of Action Research to Promote Chemistry Teachers' Professional Development – A Joined Theoretical Reflection on Two Cases from Israel and Germany." *International Journal of Science and Mathematics Education* 10, 581-610.
- Mandler, D.; Mamlok-Naaman, R.; Blonder, R.; Yayon, M. & Hofstein, A. (2012). High-school chemistry teaching through environmentally oriented curricula. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 80-92.
- Marks, R. & Eilks, I. (2009). Promoting scientific literacy using a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching: concept, examples, experiences. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4, 231-245.
- Marks, R. & Eilks, I. (2010). Research-based development of a lesson plan on shower gels and musk fragrances following a socio-critical and problem-oriented approach to chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 129-141.
- Marks, R.; Stuckey, M. & Eilks, I. (2014). Die gesellschaftliche Dimension naturwissenschaftlich-technischer Sachfragen. *GW-Unterricht*, 134(2), 19-28.
- Matlin, S. A.; Mehta, G.; Hopf, H. & Krief, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, 7, 941-943.
- Mattes, W. (2014). *Methoden für den Unterricht*. Paderborn: Schöningh.
- Maurer, A.; Lohmeier, R.; Fröhlich, P.; Frank, D.; Gellermann, C. & Bertau, M. (2018). Das lebenswichtige Element - Phosphor und Phosphatrecycling. *Chemie in unserer Zeit*, 52, 350-358
- Mayer, B. K.; Baker, L. A.; Boyer, T. H.; Drechsel, P.; Gifford, M.; Hanjra, M. A.; Parameswaran, P.; Stoltzfus, J.; Westerhoff, P.; Bruce E. & Rittmann B. E. (2016). Total Value of Phosphorus Recovery. *Environment Science & Technology*, 50, 6606-6620.
- Mayring P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Frankfurt: Beltz.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L.; Randers, J. & Behrens, W. W. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books: New York, NY, USA.
- Mehren, R.; Rempfler, A.; Ullrich-Riedhammer, E.-M.; Buchholz, J. & Hartig, J. (2016). Systemkompetenz im Geographieunterricht – Ein theoretisch hergeleitetes und empirisch überprüftes Kompetenzstrukturmodell. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 147-163.
- Meiborg, M. (2016): Neuer Streit um die letzte Kolonie Afrikas. www.zeit.de/politik/ausland/2016-03/marokko-westsahara-besatzung-asyl-sicheres-herkunftsland (01.06.2019).

- Menze, S. & Harsch, G. (2007). Lernstationen zum Thema Wein - Arbeitsmaterialien für einen Fächer verbindenden Unterricht in der Sekundarstufe II. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 56(8),10-14.
- Mezirow, J. (1978). Perspective transformation. *Adult Education*, 28(2),100-110.
- Mezirow, J. (2000). *Learning as Transformation: Critical Perspectives on a Theory in Progress*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Michelsen, G. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Post-Dekade. In Umweltdachverband GmbH (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Jahrbuch 2013*. Wien: FORUM Umweltbildung im Umweltdachverband, 10-16.
- Michelsen, G. (2015). Policy, Politics and Polity in Higher Education for Sustainable Development. In M. Barth; G. Michelsen; M. Rieckmann & I. Thomas (Hrsg.), *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development*. Routledge. routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9781315852249.ch3 (01.06.2019).
- Monastersky, R. (2015). Anthropocene: The human age. *Nature*, 519(7542), 144–147.
- Mönter, L. (2011). Die Verknüpfung von natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Bildung – Alleinstellungsmerkmal des Geographieunterrichts?. *Geographie und Schule*, 33(191), 4-10.
- Mönter, L. & Otto, K.-H. (2017). Experimentelles Arbeiten im Geographieunterricht: Grundlagen, Erkenntnisse und Konsequenzen. In L. O. Mönter; K.-H. Otto & C. Peter (Hrsg.), *Diercke Experimentelles Arbeiten. Beobachten, Untersuchen, Experimentieren*. Braunschweig: Diercke, 5-9.
- Montgomery, C. T. & Smith, M. B. (2010): *Hydraulic Fracturing – The Fuss, The Facts, The Future*. *Journal of Petroleum Technology* (December), 26-32.
- Motta, E. V. S., Raymann, K. & Moran, N. A. (2018). Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2018, 115(41), S.10305–10310
- Müller, M. & Niebert, K. (2017). Verantwortung im Anthropozän. In G. Michelsen (Hrsg.), *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Hessische Landeszentrale für politische Bildung, 55-70.
- Niebert, K. (2016). Nachhaltigkeit lernen im Anthropozän. In M. K. W. Schweer (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung in pädagogischen Handlungsfeldern - Grundlagen, Verankerung und Methodik in ausgewählten Lehr-Lern-Kontexten*. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien: Peter Lang, 77-94.
- Niebert, K. & Gropengießer H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger; I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer, 121-132.
- O'Hara, P. B.; Sanborn, H. & Howard, M. (1999). Pesticides in Drinking Water: Project-Based Learning within the Introductory Chemistry Curriculum. *Journal of Chemical Education*, 76(12), 1673-1677.
- Orion, N. & Libarkin, J. (2014). Earth System Science Education. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research in science education (Vol. 2)*. New York: Routledge, 481-496.
- Osborne, J. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 1049-1079.
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: critical reflections*. London: The Nuffield Foundation.
- Ottander, C. & Ekborg, M. (2012). Students' Experience of Working with Socioscientific Issues - a Quantitative Study in Secondary School. *Research in Science Education*, 42, 1147–1163.
- Otto, K.-H. (2015a). Geographie und Scientific Literacy – Der Beitrag der Geographie zur naturwissenschaftlichen (Grund-) Bildung. In K.-H. Otto (Hrsg.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung*. Bochum: HGD-Symposium, 1-22.
- Otto, K.-H. (2015b). Vorwort. In: K.-H. Otto (Hrsg.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung*. Bochum: HGD-Symposium, III-V.

- Otto, K.-H.; Mönter, L. O.; Hof, S. & Wirth, J. (2010). Die experimentelle Lernform – Herausforderung des kompetenzorientierten Geographieunterrichts. *Geographie und ihre Didaktik*, 3, 133-145.
- Parchmann, I.; Paschmann, A.; Huntemann, H.; Demuth, R. & Ralle, B. (2001). Chemie im Kontext. *Praxis der Naturwissenschaft Chemie*, 50(1), 2-7.
- Patton, M.Q. (1990). *Qualitative sampling and research methods*. Sage: London.
- Pedretti, E. & Nazir, J. (2015). Science, Technology and Society (STS). In R. Gunstone (Hrsg.), *Encyclopedia of Science Education*. Berlin & Heidelberg: Springer Science+Business Media Dordrecht, 932-935.
- Pfeifer, P. & Sommer, K. (2002). Aluminium - vom Fachunterricht zum Fächer verbindenden Lernen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, 13(68), 10-13.
- Pietzner, V. & Burbat, B. (2007). Ein Modellversuch zur Wirkung sekundärer Aerosole in der Luft. *Chemie konkret*, 14(1), 15-20.
- ProcessNet-Frachgruppe „Rohstoffe“ (Hrsg.) (2017). *Phosphatrückgewinnung*. Frankfurt: DECHEMA. dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Statuspap_Phosphat_2017_FINAL_NOV-p-20003290.pdf (01.06.2019).
- Pufé, I. (2014). *Nachhaltigkeit*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; München: UVK/Lucius.
- Radford, S. A.; Hunter, R. E.; Boyd Barr, D. & Ryan, P. B. (2013). Liquid-Liquid Extraction of Insecticides from Juice: An Analytical Chemistry Laboratory Experiment. *Journal of Chemical Education*, 90, 483-486.
- Ratcliffe, M. & Grace, M. (2003). *Science Education for Citizenship*. Milton Keynes: Open University Press.
- Rathore, H. R. (2017). Green Pesticides for Organic Farming: Occurrence and Properties of Essential Oils for Use in Pest Control. In L. M. L. Nollet, & H. R. Rathore (Hrsg.), *Green Pesticide Handbook – Essential Oils for Pest Control*. CRC Press: Boca Raton, 3-25.
- Raworth, K. (2017). *What on earth is doughnut?*. kateraworth.com/doughnut/ (01.06.2019).
- Rempfler, A. & Uphues, R. (2012). System competence in geography education development of competence models, diagnosis pupils' achievement. *European Journal of Geography*, 3(1), 6-22.
- Ribeiro, M. G. T. C.; Costa, D. A. & Machado, A. A. S. C. (2010). "Green Star": a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 3(2), 149-159.
- Rieckmann, M. (2018). Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In A. Leicht, J. Heiss and W. J. Byun (Hrsg.), *Issues and trends in Education for Sustainable Development*. UNESCO Publishing: Paris, 39-59.
- Roberts, D. A. & Bybee R. W. (2014). Scientific literacy, Science Literacy and Science Education. In N. G. Lederman, & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research in science education (Vol. 2)*. New York: Routledge, 545-557.
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, F. S.; Lambin, III, E.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.; Nykvist, B.; De Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P. K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P. & Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32.
- Romine, W. L.; Sadler, T. D. & Kinslow, A. T. (2017). Assessment of Scientific Literacy: Development and Validation of the Quantitative Assessment of Socio-Scientific Reasoning (QuASSR). *Journal of Research in Science Teaching*, 54(2), 274-295.
- Roth, W.-M. & Lee, S. (2004) Science Education as/for Participation in the Community. *Science Education*, 88, 263-291.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research on Science Teaching*, 41, 513-536.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sadler, T. D. (2011a). *Socio-scientific issues in the classroom*. Heidelberg, Germany: Springer.

- Sadler, T. D. (2011b). Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals of Science Education. In T.D. Sadler (Hrsg.), *Socio-scientific Issues in the Classroom – Teaching, Learning and Research*. Dordrecht: Springer, 1-9.
- Sadler, T. D.; Foulk, J.A. & Friedrichsen, P.J. (2017). Evolution of a model for socio-scientific issue teaching and learning. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 75-87.
- Schellnhuber, H. J. (1999). ‘Earth system’ analysis and the second Copernican revolution. *Nature*, 402, C19-C23.
- Scheunpflug, A. & Uphues, R. (2010). Was wissen wir im Bezug auf das Globale Lernen? Eine Zusammenfassung empirisch gesicherter Erkenntnisse. In G. Schröder & I. Schwarz (Hrsg.). *Globales Lernen: Ein geographischer Diskursbeitrag*. Münster: Waxmann, 63-100.
- Schultz, H.-D. (2015). Ordnung muss sein! Wohin mit der Geographie im „System der Wissenschaften“? Eine disziplinhistorische Skizze. In K.-H. Otto (Hrsg.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung – Der Beitrag des Faches für Schule, Lernlabor und Hochschule*. Bochum: HGD-Symposium, 41-83.
- Schwarz, G.; Frenzel, W.; Richter, W. M.; Täuscher, L. & Kubsch, G. A. (2016). Multidisciplinary Science Summer Camp for Students with - Emphasis on Environmental and Analytical Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93, 626–632.
- Seitz, T.; Hoffmann, M. G. & Krähmer, H. (2003). Chemische Unkrautbekämpfung –Herbizide für die Landwirtschaft. *Chemie in unserer Zeit*, 37, 112-126.
- Siemens, E. & Ostersehl, D. (2017). Gewässerrandstreifen – Ökologische Bedeutung eines Saumbiotops beurteilen. *Unterricht Biologie*, 425, 35-41.
- Simon, A.; Aitken, G.; Flues, F. & Mümmeler, H. (2013): *Ressourcenschwund Schiefergas*. Heinrich Böll Stiftung Schriften zur Ökologie, Band 34. Reinheim.
- Simonneaux, J. & Simonneaux, J. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective. *Research in Science Education*, 42, 75–94.
- Simonneaux, L. (2014). From promoting the techno-sciences to activism – A variety of objectives involved in the teaching of SSIs. In L. Bencze & S. Alsop (Hrsg.), *Activist science and technology education*. Dordrecht: Springer, 99-111.
- Singer-Brodowski, M. (2016). Transformative Bildung durch transformatives Lernen. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 39(1), 13-17.
- Sjøberg, S. (2019). The PISA-syndrome – How the OECD has hijacked the way we perceive pupils, schools and education. *Confero*, 7(1), 12-59.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-oriented science education. *Science & Education*, 22(7), 1873-1890.
- Sjöström, J. & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In J. Dori, Z. Mevarech & D. Baker (Hrsg.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education*. Dordrecht: Springer, 65-88.
- Sjöström, J.; Frerichs, N.; Zuin, V. G. & Eilks, I. (2017): Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning, Studies in Science Education. *Studies in Science Education*, 53(2), 165-192.
- SPIEGEL ONLINE (2018). Umweltministerium legt Plan für Glyphosat-Ausstieg vor. www.spiegel.de/wissenschaft/natur/svenja-schulze-umweltministerium-legt-plan-fuer-glyphosat-ausstieg-vor-a-1237030.html (01.06.2019)
- Statista (2018a). *Verbrauch von Phosphatdünger in der Landwirtschaft in Deutschland in den Jahren 1985 bis 2016*. de.statista.com/statistik/daten/studie/161844/umfrage/verbrauch-von-phosphat-in-der-landwirtschaft/ (01.06.2019).
- Statista (2018b). *Anteil einzelner Länder an der weltweiten Orangenproduktion im Jahr 2017/2018*. de.statista.com/statistik/daten/studie/255666/umfrage/anteil-einzelner-laender-an-der-weltweiten-orangenproduktion/ (01.06.2019).
- Steffen, W.; Broadgate, W.; Deutsch, L.; Gaffney, O. & Ludwig, C. (2015a). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98.
- Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, I. M.; Biggs, R.; Carpenter, S. R.; de Vries, W.; de Wit, C. A.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G.

- M.; Persson, L. M.; Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015b). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736-747.
- Sterling, S. (2010-11). Transformative Learning and Sustainability: sketching then conceptual ground. *Learning and Teaching in Higher Education*, 5, 17-33.
- Stewart, T. M. (2014). Teaching Future Crop Protection Practitioners through the Use of On-line Cases: Practicing IPM Spray Decisions in New Zealand Apple Orchards. *The Journal of Agricultural Education and Extension*, 21(5), 405-419.
- Stolz, M.; Witteck, T.; Marks, R. & Eilks, I. (2013). Reflecting socio-scientific issues for science education coming from the case of curriculum development on doping in chemistry education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 9, 361-370.
- Stübiger, F.; Ludwig, P. H.; Bosse, D.; Gessner, E. & Lorberg, F. (2006). *Bestandsaufnahme zur Praxis fächerübergreifenden Unterrichts in der gymnasialen Oberstufe im Bundesland Hessen*. Kassel: kassel university press GmbH.
- Stuckey, M. & Eilks, I. (2014). Raising motivation in the chemistry classroom by learning about the student-relevant issue of tattooing from a chemistry and societal perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(2), 156-167.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49, 1-34.
- Swanborn, P.G. (1996). A common base for quality control criteria in quantitative and qualitative research. *Quality & Quantity*, 30(1), 19-35.
- Talanquer, V. & Pollard, J. (2017). Reforming a large foundational course: successes and challenges. *Journal of Chemical Education*, 94(12), 1844-1851.
- TNS political & social (2017). *Special Eurobarometer 468 – Summary – Attitudes of European citizens towards the environment*. Im Auftrag der Europäischen Kommission. ec.europa.eu/environment/eurobarometers_en.htm (01.06.2019).
- Tytler, R. (2012). Socio-scientific issues, sustainability and science education. *Research in Science Education*, 42, 155-163.
- Uitto, A. & Saloranta, S. (2017). Subject Teachers as Educators for Sustainability: A Survey Study. *Education Sciences*, 7(8), 1-19.
- Umweltbundesamt (UBA) (2018). Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#textpart-1> (01.06.2019)
- UNESCO (2017). *Education for Sustainable Development Goals – Learning Objectives*. unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf (01.06.2019).
- United Nations (UN) (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. New York: UN.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) (1992): *Agenda 21*. www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf (01.06.2019).
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2019). *Global Chemicals Outlook II*. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/policy-and-governance/global-chemicals-outlook> (01.06.2019).
- United States Geological Survey (USGS) (2017). Phosphate Rock. minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2017-phosp.pdf (01.06.2019).
- Unsworth, J. (2010). History of Pesticide Use. agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31 (01.06.2019).
- Verloop, N.; van Driel, J. & Meijer, P. (2001). Teacher knowledge and the knowledge base of teaching. *International Journal of Educational Research*, 35, 441-461.
- Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22, 1857-1872.
- Waldrop, W. M. (2015). The science of teaching science. *Nature*, 523, 272-274.

- Waters, C. N.; Zalasiewicz, J.; Summerhayes, C.; Barnosky, A.D.; Poirier, C.; Gałuszka, A.; Cearreta, A.; Edgeworth, M.; Ellis, E. C.; Ellis, M.; Jeandel, C.; Reinhold Leinfelder, R.; McNeill, J. R.; Richter, D.; Steffen, W.; Syvitski, J.; Vidas, D.; Wagreich, M.; Williams, M.; Zhisheng, A.; Grinevald, J.; Odada, E.; Oreskes, N. & Wolfe, A.P. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351(6269), 137-148.
- Weichhart, P. (2003). Physische Geographie und Humangeographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchner Projekt einer „Integrativen Umweltwissenschaft“. In G. Heinritz (Hrsg.), „*Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild?*“. Münchner Symposium zur Zukunft der Geographie, 28. April. Dokumentation. Passau, 17-34.
- Wilhelmi, V. (2012). Die experimentelle Lernform – Herausforderung des kompetenzorientierten Geographieunterrichts. *Praxis Geographie*, 7-8, 4-8.
- Wilson, R. (2018). Ten things you might not know about fracking. *Science in School*, 43 (spring), 12-16.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2011). *Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine große Transformation*. Berlin.
- Witteck, T. & Eilks, I. (2005). Die Max Sauer GmbH - Eine Lernfirma zu Säuren und Basen. *Naturwissenschaften im Unterricht – Chemie*, 16(88-89), 51-56.
- Woest, V. (1997). *Den Chemieunterricht neu denken – Anregungen für eine zeitgemäße Gestaltung*, Leuchtturm Verlag: Alsbach.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). *Our common future*. www.un-documents.net/wced-ocf.htm (01.06.2019).
- Wu, Y. T. & Tsai, C.-C. (2007). High School Students' Informal Reasoning on a Socio-scientific Issue: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1163-1187.
- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific Issues as a Curriculum Emphasis. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research in science education (Vol. 2)*. New York: Routledge, 697-726.
- Zeidler, D. L. (2015). Socioscientific issues. In R. Gunstone (Hrsg.), *Encyclopedia of Science Education*. Berlin & Heidelberg: Springer Science+Business Media Dordrecht. 998-1003.
- Zeidler, D. L. & Nichols, B. H. (2009). Socioscientific Issues: Theory and Practice. *Journal of Elementary Science Education*, 21(2; Spring), 49-58.
- Zeidler, D. L.; Walker, K. A.; Ackett, W. A. & Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367.

10. Publikationen

Publikationen, die den Rahmen dieser Arbeit aufspannen, finden sich im Anhang I-VI:

Anhang I: Theoretischer Hintergrund

- Zowada, C.; Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt wann dann? – Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 2-9.
- Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Brauchen die klassischen naturwissenschaftlichen Fächer eine stärkere geographische Perspektive?. *MNU-Journal*, angenommen.
- Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Über das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu Geographie und Nachhaltigkeit. *transfer Forschung <> Schule*, angenommen.
- Gulacar, O.; Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Bringing chemistry learning back to life and society. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.). *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability*, Aachen: Shaker, 49-60.

Anhang II: Die Perspektive von Lehrkräften

- Zowada, C.; Frerichs, N. & Eilks, I. Promoting a more holistic education for sustainable development through integrating geographical perspectives into chemistry education – the chemistry teachers' view. *International Journal of Science and Mathematics Education*, eingereicht.

Anhang III: Fracking

- Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Fracking: ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht multimedial umgesetzt. *MNU-Journal*, 4, 246-252.
- Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2018). Incorporating a Web-Based Hydraulic Fracturing Module in General Chemistry As a Socio-Scientific Issue That Engages Students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.

Anhang IV: (Grüne) Pestizide

- Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N.; Eilks, I. (2019). Nachhaltige Chemie und Nachhaltigkeitsbewertung im Chemieunterricht entlang von Glyphosat und grünen Pestiziden. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 38-43.
- Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N. & Eilks, I. Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research. *Chemistry Education Research and Practice*, wieder eingereicht nach minor revisions.
- Zowada, C.; Linkwitz, M.; Siol, A. & Eilks, I. Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht. *Chemie konkret*, eingereicht.

Anhang V: Phosphatrückgewinnung

- Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Wichtiger und fächerübergreifender als man denkt: Phosphor und die Phosphate. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 170, 32-37.
- Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Phosphorus – A “political” element for transdisciplinary chemistry education. *Chemistry Teacher International*, angenommen.
- Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphatrückgewinnung - angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor. *Chemie konkret*, 26(4), 158-164.
- Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphate recovery as a topic for practical and interdisciplinary chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, angenommen.

Gulacar, O.; Zowada, C.; Burke, S., Nabavizadeh, A., Bernardo, A. & Eilks, I. Integration of a Socio-Scientific Issue into the General Chemistry Curriculum: Examining the Effects on Student Motivation and Self- Efficacy. *Chemistry Education Research and Practice*, major revisions.

Anhang VI: Aktionsforschung

Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Innovating Undergraduate General Chemistry by Integrating Sustainability-related Socio-scientific Issues. *ARISE Journal*, 1(2), 3-8.

Weitere Publikationen, die in Verbindung mit dieser Dissertation stehen:

Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Fracking multimedial - Ein gesellschaftlich relevantes Thema zwischen NW- und Geographieunterricht. *RAABits Naturwissenschaften* (2018), 28, 1-23.

Zowada, C. & Eilks, I. (2017). Learning about a challenging SSI by a digital learning environment: Hydraulic fracturing. *ESERA Beitragseinreichung*. angenommener Beitrag.

Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N. & Eilks, I. (2019). Comparing synthetic and green pesticides in chemistry teaching from a sustainability perspective. *ESERA Beitragseinreichung*, angenommener Posterbeitrag.

Zowada, C.; Siol, A.; Huwer, J.s; Hempelmann, R. & Eilks, I. (2018). Phosphor-Rückgewinnung - angewandte Umwelttechnik im Schülerlabor. *LeLa-Magazin*, 21, 17-18.

Eilks, I.; Zowada, C.; Siol, A.; Huwer, J. & Hempelmann, R (2018). Die Zukunft nachhaltig gestalten helfen - der Beitrag von Schülerlaboren. In: LernortLabor (Hrsg.), *MINT.nachhaltigkeitsbildung im Schülerlabor*, Dänischenhagen: LernortLabor, 142-149.

Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Phosphorus – From the Sustainable Development Goals Towards Transformative Non-Formal and Formal Education. *Daruna*, 46, angenommen.

Weitere Publikationen ohne Verbindung zu dieser Dissertation:

Lathwesen, C.; Zowada, C. & Belova, N. (2019). Acid Base Global - könnt ihr entkommen? Ein Escape Room zur Säure-Base-Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, angenommen.

Belova, N. & Zowada, C. (2019). Innovating higher education via game-based learning on misconceptions. *ESERA Beitragseinreichung*, angenommener Beitrag.

Dittmar, J.; Zowada, C.; Yamashita, S.; Eilks, I. (2016). Inquiry experiments with alginate bubbles. *Chemistry in Action*, 107 (Spring), 9-12.

Dittmar, J.; Zowada, C.; Yamashita, S.; Eilks, I. (2016). Molecular gastronomy in the chemistry classroom. *Science in School*, 36, 52-55.

Dittmar, J.; Zowada, C.; Yamashita, S.; Eilks, I. (2016). Bubbles in tea: No! - Bubbles in class: Yes! - Examples from the TEMI project in Germany. In I. Eilks, S. Markic, B. Ralle (Hrsg.), *Science education research and practical work*, Aachen: Shaker, 245-252.

10.1 Erklärung der Eigenanteile

Mit diesem Abschnitt sollen die Eigenanteile der kumulativen Dissertation von Christian Zowada, Universität Bremen (Fachbereich 02 Biologie und Chemie), verdeutlicht werden.

Folgend abgekürzt werden Christian Zowada als C.Z., Ingo Eilks als I.E., N.F. als Nadja Frerichs, O.G. als Ozcan Gulacar, M.L. als Michael Linkwitz, L.M. als Leif O. Mönter, K.N. als Kai Niebert, A.S. als Antje Siol und V.Z. als Vânia Gomes Zuin.

Publikation 1 (Kapitel 2)

Zowada, C.; Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt wann dann? – Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 2-9.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z. ergänzt durch I.E. und K.N.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E. und K.N.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 2 (Kapitel 2)

Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Brauchen die klassischen naturwissenschaftlichen Fächer eine stärkere geographische Perspektive?. *MNU-Journal*, angenommen.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: C.Z.

Literaturüberblick: C.Z.

Methodisches Design: C.Z. unter Ergänzung von I.E. und L.M.

Finales Design der Methode: C.Z.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E. und L.M.

Datenbeschaffung: C.Z.

Datenanalyse: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. ergänzt durch I.E. und L.M.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 3 (Kapitel 2)

Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Über das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu Geographie und Nachhaltigkeit. *transfer Forschung <> Schule*, angenommen.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E. und L.M.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 4 (Kapitel 2)

Gulacar, O.; Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Bringing chemistry learning back to life and society. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.). *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability*, Aachen: Shaker, 49-60.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z. und O.G.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E. und O.G.

Datenbeschaffung: O.G.

Datenanalyse: C.Z. und O.G.

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z., I.E. und O. G.

Erste Version des Manuskripts: C.Z. ergänzt durch I.E. und O.G.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 5 (Kapitel 3)

Zowada, C.; Frerichs, N. & Eilks, I. Promoting a more holistic education for sustainable development through integrating geographical perspectives into chemistry education – the chemistry teachers' view. *International Journal of Science and Mathematics Education*, eingereicht.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: C.Z.

Literaturüberblick: C.Z.

Methodisches Design: C.Z. mit Unterstützung von N.F.

Finales Design der Methode: C.Z.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Akquise der Interviews: C.Z. gemeinsam mit N.F.

Interviewführung: C.Z.

Interviewtranskription: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. mit Unterstützung von N.F. (auch Intercoder-Reliabilität)

Erste Interpretation: C.Z. mit Unterstützung von N.F.

Finale Interpretation: C.Z. mit Unterstützung von N.F.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 6 (Kapitel 4)

Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Fracking: ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht multimedial umgesetzt. *MNU-Journal*, 4, 246-252.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z.

Materialgestaltung – erste Version: C.Z.

Materialgestaltung – finale Version: C.Z. mit Unterstützung von I.E.

Methodisches Design: C.Z.

Finales Design der Methode: C.Z. mit Diskussionen mit I.E.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. mit Diskussionen mit I.E.

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. gemeinsam mit I.E.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 7 (Kapitel 4)

Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2018). Incorporating a Web-Based Hydraulic Fracturing Module in General Chemistry As a Socio-Scientific Issue That Engages Students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z.

Methodisches Design: C.Z. und O.G.

Finales Design der Methode: C.Z. und O.G.

Materialentwicklung: C.Z. und O.G. (v.a. Prüfen und Überarbeiten der Übersetzung)

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: O.G.

Datenanalyse: C.Z.

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z., I.E. und O.G.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 8 (Kapitel 5)

Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N.; Eilks, I. (2019). Nachhaltige Chemie und Nachhaltigkeitsbewertung im Chemieunterricht entlang von Glyphosat und grünen Pestiziden. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 38-43.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: C.Z.

Literaturüberblick: C.Z.

Materialgestaltung – erste Version: C.Z. – Videos wurden durch V.Z. und durch C.Z. angepasst (Videoschnitt)

Materialgestaltung – finale Version: C.Z. mit Unterstützung von N.F.

Methodisches Design: C.Z.

Finales Design der Methode: C.Z., N.F.; mit Diskussionen mit I.E.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: C.Z. (40%), N.F. (40%) und M.L. (20%)

Datentranskription: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. (Intercoder-Reliabilität mit N.F.)

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. & N.F.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 9 (Kapitel 5)

Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N. & Eilks, I. Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research. *Chemistry Education Research and Practice*, wieder eingereicht nach minor revisions.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: C.Z.

Literaturüberblick: C.Z.

Materialgestaltung – erste Version: C.Z. – Videos wurden durch V.Z. und durch C.Z. angepasst (Videoschnitt)

Materialgestaltung – finale Version: C.Z. mit Unterstützung von N.F.

Methodisches Design: C.Z.

Finales Design der Methode: C.Z., N.F.; mit Diskussionen mit I.E.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: C.Z. (40%), N.F. (40%) und M.L. (20%)

Datentranskription: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. (Intercoder-Reliabilität mit N.F.)

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. & N.F.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 10 (Kapitel 5)

Zowada, C.; Linkwitz, M.; Siol, A. & Eilks, I. Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht. *Chemie konkret*, eingereicht.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z. ergänzt durch I.E., M.L. und A.S.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E. und M.L.

Datenbeschaffung: C.Z., M.L. und A.S.

Erste Version des Manuskripts: C.Z. ergänzt durch M.L.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 11 (Kapitel 6)

Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Wichtiger und fächerübergreifender als man denkt: Phosphor und die Phosphate. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 170, 32-37.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Materialentwicklung: C.Z. ergänzt durch I.E., A.S. und O.G.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 12 (Kapitel 6)

Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A.; Eilks, I. (2019). Phosphorus – A “political” element for transdisciplinary chemistry education. *Chemistry Teacher International*, angenommen.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z.

Methodisches Design: C.Z. und O.G.

Finales Design der Methode: C.Z. und O.G.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Materialentwicklung: C.Z. und O.G. (v.a. Prüfen und Überarbeiten der Übersetzung)

Datenbeschaffung: O.G.

Datenanalyse: C.Z.

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z., I.E. und O.G.

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 13 (Kapitel 6)

Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphatrückgewinnung - angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor. *Chemie konkret*, 26(4),158-164.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z. ergänzt durch A.S.

Entwicklung der Experimente: A.S. und C.Z.

Entwicklung des Materials: C.Z. ergänzt durch I.E. und A.S.

Methodisches Design: C.Z.

Finales Design der Methode: C.Z. ergänzt durch A.S.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. (Intercoder Reliabilität mit N.F.)

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. ergänzt durch die Autoren

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 14 (Kapitel 6)

Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphate recovery as a topic for practical and interdisciplinary chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, angenommen.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: Gemeinsamer Beschluss von C.Z. und I.E.

Literaturüberblick: C.Z. ergänzt durch A.S.

Entwicklung der Experimente: A.S. und C.Z.

Entwicklung des Materials: C.Z. ergänzt durch I.E. und A.S.

Methodisches Design: C.Z.

Finales Design der Methode: C.Z. ergänzt durch A.S.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z.

Datenbeschaffung: C.Z.

Datenanalyse: C.Z. (Intercoder Reliabilität mit N.F.)

Erste Interpretation: C.Z.

Finale Interpretation: C.Z. ergänzt durch die Autoren

Erste Version des Manuskripts: C.Z.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Publikation 15 (Kapitel 7)

Gulacar, O.; Zowada, C.; Burke, S., Nabavizadeh, A., Bernardo, A. & Eilks, I. Integration of a Socio-Scientific Issue into the General Chemistry Curriculum: Examining the Effects on Student Motivation and Self- Efficacy. *Chemistry Education Research and Practice*, major revisions.*

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: O.G.

Literaturüberblick: O.G. ergänzt durch I.E. und C.Z.

Entwicklung des Materials: C.Z. ergänzt durch I.E. und O.G.

Methodisches Design: O.G.

Finales Design der Methode: O.G. ergänzt durch I.E. und C.Z.

Beschreibung des Hintergrunds: O.G. ergänzt durch I.E.

Datenbeschaffung: O.G.

Datenanalyse: O.G.

Erste Interpretation: O.G.

Finale Interpretation: O.G. ergänzt durch I.E. und C.Z.

Erste Version des Manuskripts: O.G.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

* Anteile der Autoren Burke, Nabavizadeh, Bernardo nicht bekannt

Publikation 16 (Kapitel 7)

Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Innovating Undergraduate General Chemistry by Integrating Sustainability-related Socio-scientific Issues. *ARISE Journal*, 1(2), 3-8.

Anteile:

Identifikation des Forschungsinteresses: C.Z.

Literaturüberblick: C.Z. und I.E.

Methodisches Design: C.Z. und O.G.

Finales Design der Methode: C.Z. ergänzt durch I.E. und O.G.

Beschreibung des Hintergrunds: C.Z. ergänzt durch I.E.

Beschreibung der Intervention: C.Z. ergänzt durch O.G.

Erste Version des Manuskripts: C.Z. ergänzt durch O.G.

Fertigstellen des Manuskripts und ggf. Überarbeitung nach Review: alle Mitwirkenden

Anhang

Anhang I: Theoretischer Hintergrund

Anhang II: Die Perspektive von Lehrkräften

Anhang III: Fallstudie Fracking

Anhang IV: Fallstudie (Grüne) Pestizide

Anhang V: Fallstudie Phosphatrückgewinnung

Anhang VI: Aktionsforschung

Anhang VII: Erhebungsinstrumente

Anhang I: Theoretischer Hintergrund

Die hier aufgeführten Publikationen zeigen den theoretischen Rahmen der Arbeit auf.

Zowada, C.; Niebert, K. & Eilks, I. (2019). Wenn nicht jetzt wann dann? – Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 2-9.

Das Manuskript wurde durch mich erstellt und dann gemeinsam mit Ingo Eilks und Kai Niebert überarbeitet.

Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Brauchen die klassischen naturwissenschaftlichen Fächer eine stärkere geographische Perspektive?. *MNU-Journal*, angenommen.

Das Manuskript inklusive aller gemachten Vergleiche und Lehrplandurchsichten wurde durch mich erstellt und dann gemeinsam mit Ingo Eilks und Leif Mönter überarbeitet.

Zowada, C.; Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Über das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu Geographie und Nachhaltigkeit. *transfer Forschung <> Schule*, angenommen.

Das Manuskript wurde durch mich erstellt und dann gemeinsam mit Ingo Eilks und Leif Mönter überarbeitet. Die Bezüge zu anderen Fallstudien wurden durch mich erstellt. Die Anteile an den jeweiligen Fallstudien sind den entsprechenden Teilen der Arbeit zu entnehmen.

Gulacar, O.; Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Bringing chemistry learning back to life and society. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.). *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability*, Aachen: Shaker, 49-60.

Das Manuskript wurde durch mich erstellt und dann gemeinsam mit Ingo Eilks und Ozcan Gulacar überarbeitet. Die Bezüge zu anderen Fallstudien wurden durch mich erstellt, wobei die Erprobungen durch Ozcan Gulacar durchgeführt wurden (siehe Anhang II + III). Die Anteile an den jeweiligen Fallstudien sind den entsprechenden Teilen der Arbeit zu entnehmen.

Wenn nicht jetzt, wann dann?

Christian Zowada, Kai Niebert und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist nicht bekannt, ob eine Parallelpublikation erlaubt ist. Daher ist sie unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Geographische Perspektiven in den Naturwissenschaften?

CHRISTIAN ZOWADA – LEIF O. MÖNTER – INGO EILKS

MS für MNU

Mit der Neuauflage des Orientierungsrahmens für den Lernbereich Globale Entwicklung 2016 ist der schulische Unterricht aller Fächer herausgefordert, seinen Fokus auf Nachhaltigkeitsbildung zu stärken. Wie aber kann sich Unterricht in Biologie, Chemie und Physik dieser Aufgabe stärker annehmen? Ein Blick in die Didaktik und Praxis des Faches Geographie kann unter Umständen dabei helfen, diesen Blick zu erweitern und Synergien zu entwickeln.

1 Einleitung

Eine immer noch aktuelle Herausforderung für Unterricht in Biologie, Chemie und Physik ist das politische Ziel einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE) (UNCED, 1992). Gerade wurde diese durch den „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung“ (ENGAGEMENT GLOBAL, 2016) und die Agenda 2030 (UN, 2015) als wichtiger denn je beschrieben. Das Wort global weist dabei darauf hin, dass der Blick über die Ländergrenzen hinaus geweitet und politische, gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Betrachtungen einbezogen werden sollen. Für Biologie, Chemie und Physik stellt sich die Frage, wie Unterricht dieser Herausforderung gerecht wird. Zu kurz gedacht wäre sicher, diese Aufgabe in ein anderes Fach auszulagern, etwa die Geographie, oder zu versuchen, es entlang einer einzelnen Unterrichtseinheit abzuarbeiten. Gefragt ist sicher auch keine Konkurrenz der Fächer. Es sollte das Gesamtziel von Schule sein, Heranwachsende auf die sich verändernde Welt und damit verbundene Entwicklungen vorzubereiten. Hierzu diskutieren wir aktuelle Entwicklungen im Zusammenhang einer BNE und Tendenzen der Didaktik des Geographieunterrichts. Wir zeigen Bezüge auf, um zu helfen, Synergien aus gemeinsamen Zielen und unterschiedlichen Sichtweisen zu entwickeln.

2 Naturwissenschaftlicher Unterricht und Nachhaltigkeitsbildung

In den 1960er und 1970er Jahren wurde es in vielen Ländern noch als Hauptziel des Unterrichts in Biologie, Chemie und Physik angesehen, zukünftige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bzw. Ingenieurinnen und Ingenieure zu identifizieren und auf ihren Beruf vorzubereiten. Mit einer Rückbesinnung auf den allgemeinbildenden Auftrag des naturwissenschaftlichen Unterrichts hat mittlerweile ein Umdenken begonnen (HOFSTEIN, EILKS & BYBEE, 2011). In Zeiten der vielfältigen Herausforderungen, eine nachhaltige Entwicklung zu gestalten, zeigt sich, dass eine solche Sicht heute mehr denn je zu eingeschränkt wäre (EILKS, MARKS & STUCKEY, 2016).

Bildungspläne und viele Schulbücher der Naturwissenschaften, besonders der Chemie und Physik, waren bis weit in die 1990er Jahre fast ausschließlich an der Sachstruktur orientiert, manche Schulbücher sind dies bis heute. Mit den 1980er Jahren sollten naturwissenschaftliche Sachthemen dann stärker ausgehend von Alltagsphänomenen erschlossen werden. Im neuen Jahrtausend versuchten Projekte wie *Chemie im Kontext* (PARCHMANN, PASCHMANN, HUNTEMANN, DEMUTH & RALLE, 2001) eine durchgängige Orientierung an alltagsweltlichen

oder technischen Kontexten. Später wurden dann allerdings Fragen gestellt, welche Art von Kontexten für die Schülerinnen und Schüler eigentlich herausfordernd sind, um sie auf gesellschaftliche Teilhabe und die Nachhaltigkeitsdebatte vorzubereiten (STOLZ, WITTECK, MARKS & EILKS, 2011).

Naturwissenschaften und Technik sind unverzichtbar für die nachhaltige Gestaltung unserer modernen Welt. Biologie, Chemie und Physik sind unstrittig Wissenschaften, die eine zentrale Rolle bei der Lösung wichtiger Probleme des 21. Jahrhunderts spielen. Eine nachhaltige Gestaltung der Zukunft unter Berücksichtigung etwa von Ressourcenschonung oder Recycling ist ohne Betrachtung biologischer, chemischer und physikalischer Aspekte undenkbar (MATLIN, MEHTA, HOPF & KRIEF, 2015). Themen der Nachhaltigkeitsdebatte können wegen ihrer Relevanz, aber auch Authentizität und Ergebnisoffenheit, wertvolle Kontexte für den Unterricht in den Naturwissenschaften darstellen (SJÖSTRÖM, RAUCH & EILKS, 2015). Sie müssen dann aber auch in einer mehrdimensionalen Betrachtung behandelt werden, die auch ökonomische und gesellschaftliche Auswirkungen berücksichtigt (BURMEISTER, JOKMIN & EILKS, 2011).

Für eine solche Betrachtung müssen sich die Fächer öffnen und inter- bzw. transdisziplinäre Betrachtungen ermöglichen. Hier stellt sich die Frage, was Unterricht in Biologie, Chemie und Physik von anderen Fächern lernen kann, in denen solche Betrachtungen ebenfalls zentrale Inhalte sind. Ein Beispiel hierfür ist der Geographieunterricht, in dem sich natur- und gesellschaftswissenschaftliche Anteile verbinden.

3 Nachhaltigkeit und aktuelle Zielsetzungen

Ursprünglich aus der Forstwirtschaft kommend, stellt Nachhaltigkeit ein Leitbild zur verantwortungsvollen Nutzung von Umwelt und Ressourcen dar. Durch den Brundtland-Bericht (WCED, 1987) und die Agenda 21 (UN, 1992) wurde Nachhaltigkeit mit drei gleichberechtigten Dimensionen beschrieben: ökologisch, ökonomisch und sozial (Abb. 1 links). Aktueller ist die Idee, die Gleichberechtigung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen neu zu interpretieren. MÜLLER UND NIEBERT (2017, 65) schlagen vor, dass Nachhaltigkeit verstanden werden muss, „als ein Wirtschaften, das der Erfüllung sozialer Bedürfnisse dient und innerhalb der planetaren Belastungsgrenzen stattfindet“ und somit die Ökologie nicht überfordert (Abb. 1 rechts). Neu dabei ist der Einbezug der planetaren Belastungsgrenzen, bei deren Überschreitung eine nicht mehr zu beherrschende Gefahr für die Umwelt vermutet wird.

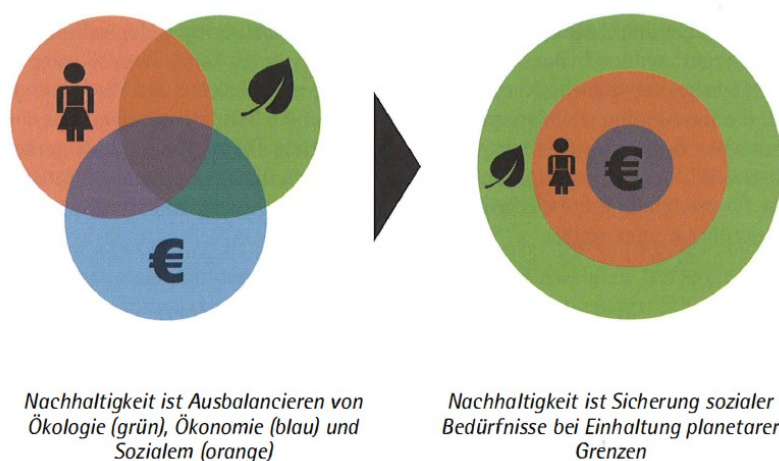


Abb. 1. Veränderung des Nachhaltigkeitskonzepts (MÜLLER & NIEBERT, 2017)

Nachhaltigkeit wurde von Beginn an auch als eine Herausforderung für Bildung beschrieben: Zehn Jahre nach der Agenda 21 war es Ziel der Weltdekade einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (2005-2014) das Leitbild Nachhaltigkeit in der Gesellschaft über Bildung zu verankern. MICHESEN (2013) gibt zwar an, dass BNE trotz der UN-Dekade nicht zum „Mainstream“ der Bildung geworden ist, dennoch beschreibt er die Dekade aufgrund zahlreicher Aktivitäten sowie einer Schärfung der Ziele und Begriffe als Erfolg. Kurz vor Abschluss der Dekade gab es auch weitere Ausschärfungen der Nachhaltigkeitsziele. Bereits 2000 wurden, u.a. durch die Vereinten Nationen (UN) und die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD), acht sogenannte *Millenniumsentwicklungsziele* definiert. Hauptziel war die Halbierung der weltweiten Armut bis zum Jahre 2015. Aufbauend auf diesen Zielen wurde dann 2015 das Aktionsprogramm 2030 „Transforming our World“ durch die UN verabschiedet. Wichtiger Kern sind die 17 *Sustainable Development Goals* (SDG) (UNITED NATIONS, 2015). Diese sind breit aufgestellt, wobei qualitativ hochwertige Bildung (Ziel 4) eines der Ziele ist (Abb. 2).



Abb. 2. Übersicht Sustainable Development Goals (ENGAGEMENT GLOBAL, 2016)

Die Rolle von BNE wird auch durch das UNESCO Weltaktionsprogramm BNE (2015-2019) unterstützt. Eine Roadmap wurde erstellt, die Lerninhalte, Pädagogik/Lernumgebung, Lernergebnisse und Gesellschaftliche Transformation umfasst (DUK, 2014). Nachhaltigkeit soll mehr als ein Unterrichtsthema sein, „cross-curricular“ integriert werden und umfassend im Alltag präsent sein, da nur so ein Beitrag zur gesellschaftlichen Transformation möglich sei. Neben dieser Roadmap wurde 2016 der Orientierungsrahmen „Globale Entwicklung“ überarbeitet (ENGAGEMENT GLOBAL, 2016). Auch hier wird Bildung als eine der Grundlagen der Zukunft definiert. Der Orientierungsrahmen beinhaltet die 17 SDG's als Lerngegenstand und zeigt, wie diese in den Unterricht integriert werden können. Ziel verschiedener Unterrichtsvorschläge ist nicht die fachliche Erweiterung, sondern ein stärkerer Realitätsbezug. Der Orientierungsrahmen enthält zudem eine vierte Dimension für Nachhaltigkeit: gute Regierungsführung/demokratische Politikgestaltung. Die nun vier Entwicklungsdimensionen (Soziales, Wirtschaft, Umwelt & Politik) werden auf Maßstabsebenen vom Individuum bis hin

zur Welt gesetzt (EBD.).

4 Was tut die Geographie?

Bis zum Ende der 1960er Jahre jedoch orientierte sich die Geographie am sogenannten länderkundlichen Schema, um einen Ausschnitt der Welt in seiner Individualität anhand der Zusammenhänge verschiedener Geofaktoren zu beschreiben (SCHULTZ, 2015). Geographieunterricht wird auch heute noch oft noch als Stadt–Land–Fluss Unterricht angesehen, um die Lernenden „erdkundig“ zu machen (GANS & HEMMER, 2015). Allerdings hat der Geographieunterricht mehr zu bieten, denn: „*Die Geographie ist eine Wissenschaft, die Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt in einer vernetzten, integrativen Perspektive in den Blick nimmt*“ (GEBHARDT, GLASER, RADTKE & REUBER, 2011a, S. 3). Heute zielt Geographieunterricht darauf ab, Orientierung in der Welt aufzuzeigen und raumbezogene Handlungskompetenz zu entwickeln. Dabei sieht sich das Schulfach Geographie der Nachhaltigkeit besonders verpflichtet (DGFG, 2017).

Oft wird die Geographie als Brückenfach zwischen Natur- und Gesellschaftswissenschaften aufgefasst. Dies wird der Geographie angesichts auseinanderdriftender Kernfelder aber nur bedingt gerecht und gilt eher als veraltet (MÖNTER, 2011). Kernfelder sind die eher naturwissenschaftliche Physiogeographie und die mehr gesellschaftswissenschaftliche Humangeographie (OTTO, 2016a). Beide Teildisziplinen nutzen verschiedene Forschungsmethoden und sind Nachbardisziplinen häufig näher als untereinander. So versucht der Geographieunterricht heute eine Verbindung durch eine jüngere, dritte Säule herzustellen, die Umwelt-Gesellschaft-Interaktion (Abb. 3), die aber weiterhin die Eigenständigkeit der Kernfelder respektiert (GEBHARDT et al., 2011b, S. 76).



Abb. 3. Drei-Säulen-Modell der Geographie (nach GEBHARDT et al., 2011b, S. 76)

Um den Ansprüchen dieses Modells gerecht werden zu können, muss Systemkompetenz erworben werden. Aus Sicht der Geographie fasst REMPFLER (2010) Systemdenken zusammen als: „*einen komplexen Realitätsbereich in seiner Organisation modellhaft als System zu erkennen und zu beschreiben, die systemischen Eigenschaften dieses Realitätsbereichs zu erfassen und einen systemadäquaten Umgang mit dem Realitätsbereich aufzuweisen*“ (EBD., S. 11). Ein solches Denken scheint in einer globalisierten Welt zentral, in der mono-kausale Antworten auf multiperspektivische Fragen nicht ausreichen. Eine stärkere Berücksichtigung systemischen Denkens ist notwendig, um globale Probleme, wie den Klimawandel, zu verstehen und ihm entgegenzuwirken.

Ein systemischer Ansatz betrachtet Themen ganzheitlich und zeigt verschiedene Optionen auf, ohne mit einer „richtigen“ Lösung zu argumentieren. Vor diesem Hintergrund schlagen MEHREN, REMPFLER, ULLRICH-RIEDHAMMER, BUCHHOLZ und HARTIG (2016) das Konstrukt der Systemkompetenz vor. Nach ihnen besitzt Systemkompetenz im Geographieunterricht zwei Komponenten: Systemorganisation/-verhalten und systemadäquate Handlungsintention.

Systemorganisation beschreibt, „einen komplexen Realitätsbereich in seiner Organisation als System identifizieren und dessen wesentliche Bestandteile modellhaft darstellen und beschreiben zu können“ (EBD., S. 152). Unter Systemverhalten wird die Analysefähigkeit von Verhaltensweisen und Funktionen in Systemen verstanden. Systemorganisation und -verhalten lassen sich normativ (systemtheoretisch) trennen, was empirisch nicht der Fall ist. Es geht darum, auf Grundlage des Wissens Handlungsentscheidungen systemadäquat zu erfassen und im Realraum umzusetzen (EBD.).

Verwandt zur Systemkompetenz ist das Systemkonzept als Basiskonzept des Schulfaches Geographie (DGfG, 2017). In Entsprechung zu dem Drei-Säulen-Modell (Abb. 3) lassen sich drei Systembereiche ableiten. Ein Beispiel ist die Behandlung von Migration als humangeographisches System, des Klimawandels als naturgeographisches System und der Verschränkung dazwischen in einem Gesellschafts-Umwelt-System: Klimaflüchtlinge (MEHREN ET AL., 2016). Die Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG) leitet hieraus das Modell aus Abbildung 4 ab. In ihm sind die verschiedenen Systemverständnisse aufeinander bezogen, wie auch Maßstabsebenen und Systemkomponenten benannt (DGfG, 2017).

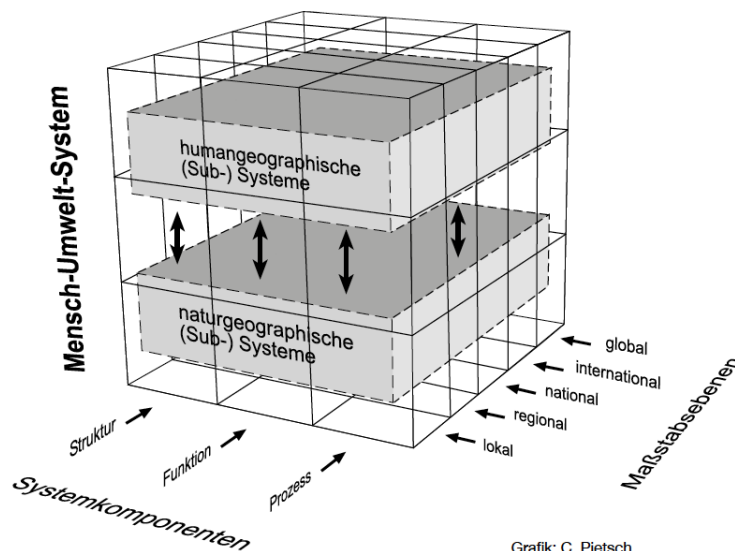


Abb. 4. Raumanalysemodell für das Fach Geographie (DGfG, 2017)

Als problematisch für diesen Ansatz in der Praxis erweist sich, dass Phänomene und Sachverhalte häufig wenig umfassend behandelt werden können. Die Geographin und der Geograph gelten gemeinhin als „Spezialist für das Generelle“. Der Geographieunterricht lässt es manchmal an fachlicher Tiefe, gerade aus naturwissenschaftlicher Perspektive, vermissen. Dies gilt gerade auch hinsichtlich methodisch-strategischer Lernzieldimensionen, etwa dem experimentelle Arbeiten (MÖNTER & OTTO, 2017), wobei eventuell andere Fächer mit stärkerer naturwissenschaftlicher Fokussierung helfen könnten (MARKS, STUCKEY & EILKS, 2014).

5 Wo können die Fächer voneinander lernen oder kooperieren?

Im folgenden Abschnitt betrachten wir exemplarisch die Chemie im Vergleich zur Geographie. Beim Vergleich der (Bildungs-)Standards (Tabelle 1) unterliegt das Fach Chemie den Setzungen der KMK (2004), während die Geographie Standards der DGfG nutzt (DGfG, 2017).

Kompetenz	Chemie	Geographie
Fachwissen	chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen	Fähigkeit, Räume auf den verschiedenen Maßstabsebenen als natur- und humangeographische Systeme zu erfassen und Wechselbeziehungen zwischen Mensch und Umwelt analysieren zu können.
Erkenntnisgewinnung (in Geographie: / Methode)	experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen	Fähigkeit, geographisch/geowissenschaftlich relevante Informationen im Realraum sowie aus Medien gewinnen und auswerten sowie Schritte zur Erkenntnisgewinnung in der Geographie beschreiben zu können.
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen	Fähigkeit, geographische Sachverhalte zu verstehen, zu versprachlichen und präsentieren zu können sowie sich im Gespräch mit anderen darüber sachgerecht austauschen zu können.
Bewertung (in Geographie: / Beurteilung)	chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten	Fähigkeit, raumbezogene Sachverhalte und Probleme, Informationen in Medien und geographische Erkenntnisse kriterienorientiert sowie vor dem Hintergrund bestehender Werte in Ansätzen beurteilen zu können.
Räumliche Orientierung	-	Fähigkeit, sich in Räumen orientieren zu können (topographisches Orientierungswissen, Kartenkompetenz, Orientierung in Realräumen und die Reflexion von Raumwahrnehmungen).
Handlung	-	Fähigkeit und Bereitschaft, auf verschiedenen Handlungsfeldern natur- und sozialraumgerecht handeln zu können.

Tab. 1. Kompetenzen Chemie (KMK, 2004, S. 7) und Geographie (DGFG, 2017, S. 9)

Beim Fachwissen in der Chemie geht es darum, wesentliche fachinhaltliche Konzepte der Chemie kennen und anwenden zu lernen. Ziel des Geographieunterrichts ist der Erwerb einer „raumbezogenen Handlungskompetenz“, also einer geographischen Handlungsfähigkeit in Interaktion von natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Systemen. Die Erkenntnisgewinnung ist in der Chemie, wie in Biologie und Physik, gebunden an das Experimentieren. Wichtige Elemente sind das Aufstellen von Hypothesen und deren Überprüfung, sowie das korrekte Auswerten von Experimenten unter Verwendung erlernter Modelle. In der Geographie ergänzt das Wort „Methode“ die Erkenntnisgewinnung. Es sind Informationsquellen zu nennen sowie diese korrekt auszuwerten und umzuwandeln. Die experimentelle Arbeit ist im Geographieunterricht eher selten, obgleich die Bedeutung insbesondere unter methodologischen Aspekten geschätzt wird (WILHELM, 2012; MÖNTER & OTTO, 2017). Bei Kommunikation fokussiert die Chemie den Fachspracherwerb und die Gewinnung von Informationen aus Medien und deren Austausch. Die Geographie differenziert zwischen „Verstehen und Versprachlichen“ und erweitert um das „Präsentieren“. Während die Chemiestandards das Recherchieren zu einem Sachverhalt angeben, geht es in der Geographie explizit um den Informationsgehalt in Alltags- und Fachsprache. Hier ist dies ein bewusstes Übersetzen zwischen Alltags- und Fachsprache, das aber auch in der Chemie als adressatengerechte Kommunikation eine Rolle spielt. Bewertung wird in der Geographie um Beurteilen ergänzt. Beurteilen ist das Fällen eines Urteils zu einem Problem oder Sachverhalt, während Bewerten an einem übergeordneten Wert oder Kriterium orientiert ist. In der Geographie geht es deutlich häufiger um Bewertung und Beurteilung. Die Kriterien einer Beurteilung müssen zunächst genannt werden, um etwas sachgerecht auszudrücken. Ziel ist

dann die Stärkung von Medienkompetenz, indem aus Medien Informationen gewonnen und ihre Aussagekraft reflektiert wird. In einer Teilkompetenz geht es um das Einschätzen, also das Beurteilen von Erkenntnissen und Aussagen, in Bezug zur Gesellschaft. Intendiert wird zudem das Bewerten, indem Normen und Werte zu nennen und in Bezug zu setzen sind. Die räumliche Orientierung ist eine exklusive Kompetenz der Geographie und beschäftigt sich mit Raumorientierung oder Nutzung von Medien, wie Karten oder GPS, sowie (gesellschaftlichen) Raumkonstruktionen. Handlungskompetenz zielt auf das bewusste Handeln und Hinterfragen von Handlungen. Diese Kompetenz ist in der Chemie nicht explizit verankert, wohl aber finden sich Handlungsdimensionen, die auch gesellschaftliche Aspekte einschließen.

In Bezug auf BNE gibt BROCK (2017) an, dass sich einige Hinweise in den Standards der Chemie finden lassen, während im Fach Geographie große Anknüpfungspunkte vorhanden sind. Ein exemplarischer Blick in je zwei Bildungspläne je Fach aus den Bundesländern Baden-Württemberg (Gy und SI), Nordrhein-Westfalen (Gy und SII), Niedersachsen (Gy und SII) und Bremen (Gy und SII) zeigt, dass etliche Überschneidungen existieren. Hierfür wurden Themen potentieller Überschneidung gesucht. Aus den Themen wurde eine Wortliste erstellt und das Auftauchen der Begriffe in den Bildungsplänen durch die Suchfunktion erhoben. In Abbildung 5 ist eine Übersicht der Wortliste dargestellt. Schulbücher bestätigen den Eindruck der Bildungspläne. Geographiebücher behandeln Luftverschmutzung, Düngung, fossile Rohstoffe, sauren Regen, Smog, Treibhauseffekt, Umweltverschmutzungen oder Wetter. In Chemieschulbüchern finden sich die gleichen Themen. Einige Seiten der Schulbücher ließen sich 1:1 für das andere Fach übernehmen und nahezu alle diese gemeinsamen Themen haben einen Bezug zur Nachhaltigkeitsdebatte.

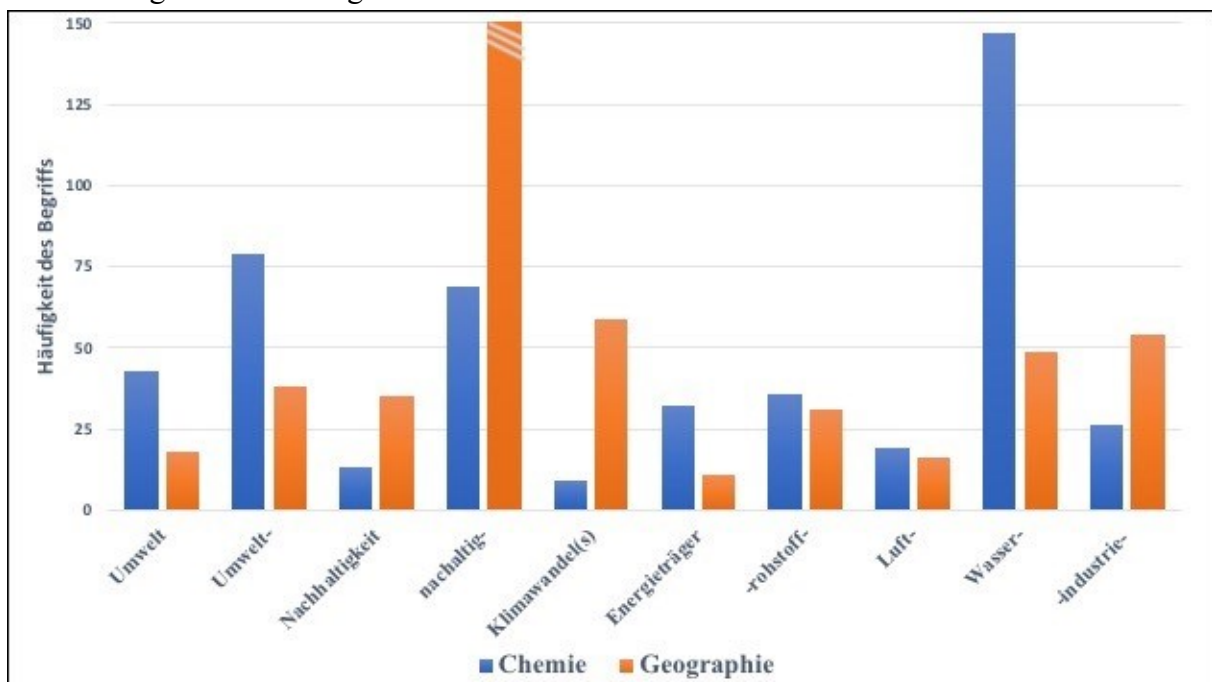


Abb. 5. Vorkommen von Themen in den Bildungsplänen der Länder Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Bremen (Das Diagramm wurde bei 150 der Übersichtlichkeit wegen beschnitten, der Wert für „nachhaltig-“ in der Geographie ist 298.)

Nachhaltigkeit kann also gut in der Verbindung beider Fächer, und sicher auch mit Biologie und Physik, thematisiert werden. Gerade diese will dann auch die UNESCO (2017), die jüngst

Lernziele für die SDG's formulierte: z. B. 6 „Sauberes Wasser und Sanitätsversorgung“, 7 „Bezahlbare und saubere Energie“, 12 „Verantwortungsvolle Konsum- und Produktionsmuster“ oder 13 „Maßnahmen zum Klimawandel“. Konkreter wird der Orientierungsrahmen Globale Entwicklung, der neben einer Ausformulierung von Kompetenzen (Erkennen, Bewerten, Handeln) Unterrichtsvorschläge unter Ausrichtung an den SDG für alle Schulfächer gibt (ENGAGEMENT GLOBAL, 2016). Aber auch aus den Fachdidaktiken kommen hierzu immer wieder fächerverbindende Vorschläge, etwa zu Aerosolen (PIETZNER & BURBAT, 2007) oder jüngst zum Fracking (ZOWADA & EILKS, 2018).

6 Ausblick

Unterricht in Biologie, Chemie und Physik besitzt viele Berührungspunkte mit dem Geographieunterricht. Eine Berücksichtigung geographischer Sichtweisen scheint in Anbetracht der Forderung stärker gesellschaftliche Aspekte in den klassischen naturwissenschaftlichen Fächern zu berücksichtigen (HOFSTEIN et al., 2011), zielführend und wichtig. Ein Thema wird eben nicht immer nur dann relevant, wenn es einen starken Alltags- oder Berufsbezug hat, sondern auch wenn es für die Gestaltung und Transformation der Gesellschaft wichtig ist (STUCKEY, HOFSTEIN, MAMLOK-NAAMAN & EILKS, 2013).

Lernende und Lehrende stehen zunehmend vor der Herausforderung, über Fragen zu diskutieren, für die Lehrende keine Antwort haben und bei welchen es womöglich auch keine „richtige“ Antwort gibt. Die geographische Systemkompetenz kann für weitere Bereiche des naturwissenschaftlichen Unterrichts, auch in Chemie und Physik, eine Unterstützung sein. Sie kann ein Handwerkszeug zur Verfügung stellen, gesellschaftliche und geographische Perspektiven in ihre Betrachtungen zu integrieren: *„So sollte die Thematisierung des Verhältnisses von Mensch, Natur und Gesellschaft im GW- oder Geographieunterricht nicht als Ausrede dienen, dass die anderen naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer (...) die Hinterfragung der gesellschaftlichen Bedeutung ihrer Inhalte ausblenden“* (MARKS ET AL., 2014, S. 20).

Ein Fach allein kann die Herausforderungen unserer Zeit nicht bewältigen (MARKS ET AL., 2014). Allerdings sollten Biologie, Chemie und Physik auch nicht versuchen, der Geographie ihre Themen und Ziele wegzunehmen. Ein verstärkter Dialog zwischen den Fächern in konzeptioneller, fachdidaktischer Hinsicht sowie im schulischen, praktischen Kontext ist gefragt. Idealerweise lernen die Lernenden die fachlichen und methodischen Inhalte der verschiedenen Fächer, erkennen aber auch die spezifischen Perspektiven der Fächer und sind dann in der Lage, fächerverbindend oder -übergreifend Probleme unter Berücksichtigung aller Handlungsebenen – von der lokalen bis hin zur globalen Ebene – zu bearbeiten.

Aktuelle politische Entwicklungen, wie die SDG's, dürfen im Unterricht nicht ignoriert werden. Hier kann der Geographieunterricht mit seinen Perspektiven für Biologie, Chemie und Physik befruchtend wirken. Eine geographische Perspektive kann helfen, wenn eine klassisch naturwissenschaftliche Sicht ein Thema zu wenig ganzheitlich erschließt. Dafür müssen aber insbesondere die Chemie und Physik anerkennen, dass viele ihrer Themen eine gesellschaftlich-geographische Dimension haben. Eine konkretere naturwissenschaftliche Perspektive könnte anders herum helfen, klassische Themen des Geographieunterrichts zu vertiefen. Ein Thema, an dem wir dies aktuell umzusetzen, ist die Auseinandersetzung mit Phosphatgestein. Hier werden die geologischen, geographischen, politischen und wirtschaftlichen Aspekte des

kritischen Rohstoffs Phosphatgestein zusammen thematisiert mit aktuellen Entwicklungen in der Rückgewinnung von Phosphaten aus Abwässern durch moderne chemisch-technische Verfahren (EILKS, ZOWADA, SIOL, HUWER, & HEMPELMANN, 2018). Wir sind davon überzeugt, dass es mehr Projekte geben sollte, die eine solche Verbindung herstellen, was dann vielleicht auch zu mehr Relevanzempfinden bei Lernenden in den Bereichen Chemie und Physik beitragen könnte.

Literatur

BROCK, A. (2017): Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. www.bne-portal.de/sites/default/files/downloads/WAP_BNE_executive_summary_schule.pdf (11.01.2018).

BURMEISTER, M., JOKMIN, S. & EILKS, I. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistry im Chemieunterricht. *Chemie konkret*, 18(3), 123-128.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE (DGfG) (2017). Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Schulabschluss. Bonn: DGfG.

DEUTSCHE UNESCO-KOMMISSION E.V. (DUK) (2014). UNESCO Roadmap zur Umsetzung des Aktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“. Bonn: DUK.

ENGAGEMENT GLOBAL (Hg.) (2016). Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. Bonn: Cornelsen.

EILKS, I., MARKS, R. & STUCKEY, M. (2016). Das gesellschaftskritisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65(5), 33-37.

EILKS, I., ZOWADA, C., SIOL, A., HUWER, J., HEMPELMANN, R. (2018). Die Zukunft nachhaltig gestalten helfen - der Beitrag von Schülerlaboren. In: LernortLabor (Hrsg.), MINT.nachhaltigkeitsbildung im Schülerlabor. Dänischenhagen: LernortLabor, 142-149.

GANS, P. & HEMMER, I. (Hg.) (2015). Zum Image der Geographie in Deutschland – Ergebnisse einer empirischen Studie. Leipzig: Leibniz-Institut für Länderkunde.

GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U. & REUBER, P. (2011a). Geographie – Physische Geographie und Humangeographie. Heidelberg: Spektrum.

GEBHARDT, H., GLASER, R., RADTKE, U. & REUBER, P. (2011b). Kapitel 4 Das Drei-Säulen-Modell der Geographie. In: H. GEBHARDT, R. GLASER, U. RADTKE & P. REUBER (Hg.): *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg: Spektrum, 70-87.

HOFSTEIN, A., EILKS, I. & BYBEE, R. (2011). Societal Issues and their importance for contemporary science education – a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459-1483.

KONFERENZ DER KULTUSMINISTER DER LÄNDER IN DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (KMK) (2004). Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. München: Wolters Kluwer.

MARKS, R., STUCKEY, M. & EILKS, I. (2014). Die gesellschaftliche Dimension naturwissenschaftlich-technischer Sachfragen, *GW-Unterricht*, 134, 2, 19-28.

MATLIN, S. A., MEHTA, G., HOPF, H. & KRIEF, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, 7, 941-943.

MEHREN, R., REMPFER, A., ULLRICH-RIEDHAMMER, E.-M., BUCHHOLZ, J. & HARTIG, J. (2016). Systemkompetenz im Geographieunterricht – Ein theoretisch hergeleitetes und empirisch überprüftes Kompetenzstrukturmodell. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22, 147-163.

MICHELSSEN, G. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Post-Dekade. IN: UMWELTDACHVERBAND GMBH (Hg.). *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Jahrbuch 2013*. Wien: FORUM Umweltbildung im Umweltdachverband, 10-16.

MÖNTER, L. (2011). Die Verknüpfung von natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Bildung – Alleinstellungsmerkmal des Geographieunterrichts?. *Geographie und Schule*, 33 (191), 4-10.

MÖNTER, L., & OTTO, K.-H. (2017). Experimentelles Arbeiten im Geographieunterricht: Grundlagen, Erkenntnisse und Konsequenzen. In: L. O. Mönter, K.-H. Otto & C. Peter (Hg.): *Diercke Experimentelles Arbeiten*. Braunschweig: Diercke, 5-9.

MÜLLER, M., & NIEBERT, K. (2017). Verantwortung im Anthropozän. In: G. MICHELSSEN (Hg.). *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit*, Wiesbaden: Hessische Landeszentrale für politische Bildung, 55-71.

OTTO, K.-H. (2016a). Geographie und Scientific Literacy – Der Beitrag der Geographie zur naturwissenschaftlichen (Grund-) Bildung. In: K.-H. OTTO (Hg.). *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung*, Bochum: HGD-Symposium, 1-22.

OTTO, K.-H. (2016b). Vorwort. In: K.-H. OTTO (Hg.). *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung*, Bochum: HGD-Symposium, III-V.

PARCHMANN, I., PASCHMANN, A., HUNTEMANN, H., DEMUTH, R. & RALLE, B. (2001). Chemie im Kontext. *Praxis der Naturwissenschaft Chemie*, 50(1), 2-7.

PIETZNER, V. & BURBAT, B. (2007). Ein Modellversuch zur Wirkung sekundärer Aerosole in der Luft. *Chemie konkret*, 14(1), 15-20.

REMPFLER, A. (2010). Systemdenken – Schlüsselkompetenz für zukunftsorientiertes Raumverhalten. *Geographie und Schule*, 184, 11-18.

SCHULTZ, H.-D. (2015). Ordnung muss sein! Wohin mit der Geographie im „System der Wissenschaften“? Eine disziplinhistorische Skizze. In: K.-H. OTTO (Hg.): *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung – Der Beitrag des Faches für Schule, Lernlabor und Hochschule*, Bochum: HGD-Symposium, 41-83.

SJÖSTRÖM, J., RAUCH, F., & EILKS, I. (2015). Chemistry education for sustainability. In: I. EILKS & A. HOFSTEIN (Hg.): *Relevant chemistry education—from theory to practice*. Rotterdam: Sense, 163–184.

STOLZ, M., WITTECK, T., MARKS, R., & EILKS, I. (2011). ‚Doping‘ für den Chemieunterricht und eine Reflexion über geeignete Themen für einen gesellschaftlich relevanten Chemieunterricht. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 64(8), 472-479.

STUCKEY, M., HOFSTEIN, A., MAMLOK-NAAMAN, R. & EILKS, I. (2013). The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum, *Studies in Science Education*, 49(1), 1-34.

UNESCO (2017). Education for Sustainable Development Goals – Learning Objectives. unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf (11.01.2018).

UNITED NATIONS (UN) (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for

sustainable development. New York: UN.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (UNCED) (1992). Agenda 21. Rio de Janeiro: UNCED.

WILHELMI, V. (2012). Die experimentelle Lernform – Herausforderung des kompetenzorientierten Geographieunterrichts. *Praxis Geographie*, 7-8, 4-8.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED) (1987). Our common future. www.un-documents.net/wced-ocf.htm (11.01.2018).

ZOWADA, C. & EILKS, I. (2018). Fracking. *MNU Journal*, 2018(4), 246-252.

CHRISTIAN ZOWADA, Universität Bremen, FB 2 – IDN, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, christian.zowada@uni-bremen.de, ist wiss. Mitarbeiter in der Abteilung Chemiedidaktik der Universität Bremen.

Prof. Dr. Leif O. Mönter, Universität Trier, FB VI – Geographie und ihre Didaktik, Behringstraße 21, 54286 Trier, moenter@uni-trier.de, ist Professor für Geographiedidaktik an der Universität Trier

Prof. Dr. INGO EILKS, Universität Bremen, FB 2 – IDN, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, ingo.eilks@uni-bremen.de, ist Professor für Chemiedidaktik an der Universität Bremen

Christian Zowada, Leif O. Mönter und Ingo Eilks

Über das Verhältnis des naturwissenschaftlichen Unterrichts zu Geographie und Nachhaltigkeit

On the relation of science education with geography and sustainability

Zusammenfassung

Eine nachhaltige Zukunft ist nur auf Basis naturwissenschaftlicher Einsichten möglich. Ohne sie können viele aktuelle Herausforderungen nicht gemeistert werden, wie das Erreichen der Sustainable Development Goals. Da nachhaltigkeitsbezogene Herausforderungen nur transdisziplinär zu lösen sind, diskutieren wir das Hinzuziehen geographischer Perspektiven für die Naturwissenschaften. Ein solcher Blick kann aus unserer Sicht den Bildungswert des naturwissenschaftlichen Unterrichts steigern. Entlang von drei Beispielen beschreiben wir, wie geographische Perspektiven helfen können, ganzheitlicher zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung beizutragen.

Abstract

A sustainable future needs a base in scientific knowledge. Without scientific knowledge many current challenges cannot be mastered, such as the achievement of the Sustainable Development Goals. Since sustainability-related challenges can only be solved transdisciplinarily, we discuss the inclusion of geographic perspectives for the natural sciences. In our view, such a perspective can increase the educational value of science teaching. Along three examples, we describe how geographical perspectives can help to more fully contribute to education for sustainable development.

1. Einleitung

Fragen nach der ökonomischen und ökologischen Entwicklung der Welt und den mit ihr verbundenen Grenzen unseres Wachstums werden seit etwa 50 Jahren ausgehend von einer Studie des Club of Rome (Meadows, Meadows, Randers & Behrens, 1972) diskutiert. Aktuell finden sich unterschiedlichste Medienbeiträge, etwa über Chemikalien und Plastik, die unsere Gewässer und Ozeane verschmutzen, Erdgasförderung durch Fracking, die zu Grundwasserverschmutzung und Klimawandel beitragen kann oder Erdbeben auslösen soll, sowie Verbote von synthetischen Pestiziden, die für das Bienensterben verantwortlich gemacht werden. Es wird kontrovers diskutiert, was die „richtigen“ Antworten auf solche Herausforderungen sind. Unstrittig ist aber, dass menschliches Handeln nachhaltiger werden muss, um die Belastung des Planeten Erde zu verringern, bis hin zu einer nachhaltigen Lebensweise, die darauf abzielt, dass zukünftige Generationen in einer Welt leben können, in denen sie ihre Bedürfnisse immer noch verwirklichen können (WCED, 1987).

Einen aktuellen Handlungsrahmen, wie die Weltbevölkerung sich entwickeln soll, geben die in der Agenda 2030 verabschiedeten Entwicklungsziele der Vereinten Nationen (Sustainable Development Goals; UN, 2015). Für das Erreichen vieler dieser Ziele sind naturwissenschaftliche Erkenntnisse und die auf ihnen basierenden technischen Anwendungen zentral (Matlin, Mehta, Hopf & Krief, 2015), etwa zur Bekämpfung des Hungers oder für Maßnahmen zum Klimaschutz. Das macht Nachhaltigkeitsbildung zu einer zentralen Herausforderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Alle Fächer sollen einen Beitrag zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) leisten, auch die Naturwissenschaften, die dabei aber nicht auf ihren eigenen fachlichen Fokus beschränkt bleiben sollten (KMK, 2017). Naturwissenschaftlicher Unterricht muss über das bloße Betrachten von Fachwissen hinausgehen (Sjöström, 2013), über den Tellerrand blicken und etwa gesellschaftliche Perspektiven einschließen, was in vielen Curricula leider immer noch zu selten vorkommt (Hofstein, Eilks & Bybee, 2011).

Im Folgenden zeigen wir auf, wie ein solch erweiterter Blick gestaltet werden kann, wenn moderne Konzepte nachhaltiger Entwicklung als Impulsgeber für den naturwissenschaftlichen Unterricht genutzt werden, etwa das Konzept planetarer Belastungsgrenzen (Steffen et al., 2015), und um geographische Perspektiven bereichert werden (Zowada, Mönter & Eilks, 2019). Nach einer allgemeinen Legitimation werden wir einen Einblick in drei Unterrichtsbeispiele zu den Themen Fracking, Phosphatrückgewinnung und (Grüne) Pestizide geben.

2. Ziele der nachhaltigen Entwicklung, planetare Belastungsgrenzen und Unterricht

Der Begriff Nachhaltigkeit entstammt ursprünglich der forstwirtschaftlichen Zielsetzung, dem Wald nur so viele Bäume zu entnehmen, wie in derselben Zeit nachwachsen können. Durch Berichte wie „Die Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome (Meadows et al., 1972) wurde das Konzept der Nachhaltigkeit in ein breites gesellschaftliches Bewusstsein gerückt und spätestens 1987 zu einer regulatorischen Idee globaler Politik. Im Brundtland-Bericht „Our Common Future“ der Vereinten Nationen (WCED, 1987) wird Nachhaltigkeit definiert als die Befriedigung der Bedürfnisse der jetzigen Generation, ohne dabei die Chancen zukünftiger Generationen einzuschränken, ihren Bedürfnissen nachgehen zu können. Mit der Agenda 21 heben die Vereinten Nationen drei Dimensionen von Nachhaltigkeit hervor: soziale, ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit (UN, 1992). Diese sollen in gegenseitiger Balance eine nachhaltige Entwicklung vorantreiben. Diese Sichtweise ist auch in der Agenda 2030 aus dem Jahr 2015 wiederzufinden (UN, 2015), in der sich 193 Länder einigten, dass aktuelle Herausforderungen nur gemeinschaftlich lösbar sind. Kern dieser Agenda sind 17 Sustainable Development Goals (SDGs), die bis 2030 die Transformation zu einer nachhaltigen Welt anleiten sollen (weiterführend und vertiefend: Pufé, 2014 und Michelsen, 2015).

Die SDGs sind vielfältig, etwa die Bekämpfung von Armut, Hunger und Ungleichheit, Klima-, Land- und Gewässerschutz oder bezahlbare und saubere Energie (Abb. 1). Es geht aber auch um hochwertige Bildung als Beitrag zur Gestaltung einer nachhaltigen Welt. Hierfür schlägt Rieckmann (2018, S. 4) eine handlungsorientierte, transformative Pädagogik vor. Nach der vergangenen Dekade einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) (2004-2014) führt die UNESCO nun ein Aktionsprogramm durch (DUK, 2014), das Lernende befähigen soll, nachhaltige Entwicklung umzusetzen und mitzugestalten.



Abb. 1: Globale Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (UN, 2015)

Das schon fast klassische Drei-Säulen-Konzept der Nachhaltigkeit mit den drei gleichberechtigten Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales wird in jüngerer Zeit zunehmend kritisiert. Griggs und Kollegen (2013) betonen, dass wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung nur beim Einhalten ökologischer Grenzen und der Bewahrung unserer Umwelt nachhaltig sein kann. Müller und Niebert (2017, S. 65) beschreiben dies „als ein Wirtschaften, das der Erfüllung sozialer Bedürfnisse dient und innerhalb der planetaren Belastungsgrenzen stattfindet“. Was aber sind diese planetaren Belastungsgrenzen bzw. planetare Leitplanken? Steffen et al. (2015) schlagen neun Indikatoren vor (Abb. 2), darunter etwa der Klimawandel, die Ozeanversauerung oder Umweltverschmutzung mit neuen Chemikalien. Sie versuchen Kontrollvariablen zu definieren, bei deren Einhaltung angenommen wird, dass die Erde keine irreversiblen Schäden nimmt. Werden diese Grenzen aber überschritten, steigt das Risiko für irreversible Schäden. Die bekannteste Belastungsgrenze ist vermutlich der Klimawandel, bei dem eine Kontrollvariable der atmosphärische Kohlenstoffdioxidgehalt ist. Die Belastungsgrenze liegt bei 350 ppm Kohlenstoffdioxid und ist mit aktuell rund 400 ppm überschritten (ebd.). Allerdings sind solche Kontrollvariablen bislang nicht für alle Belastungsgrenzen definiert.

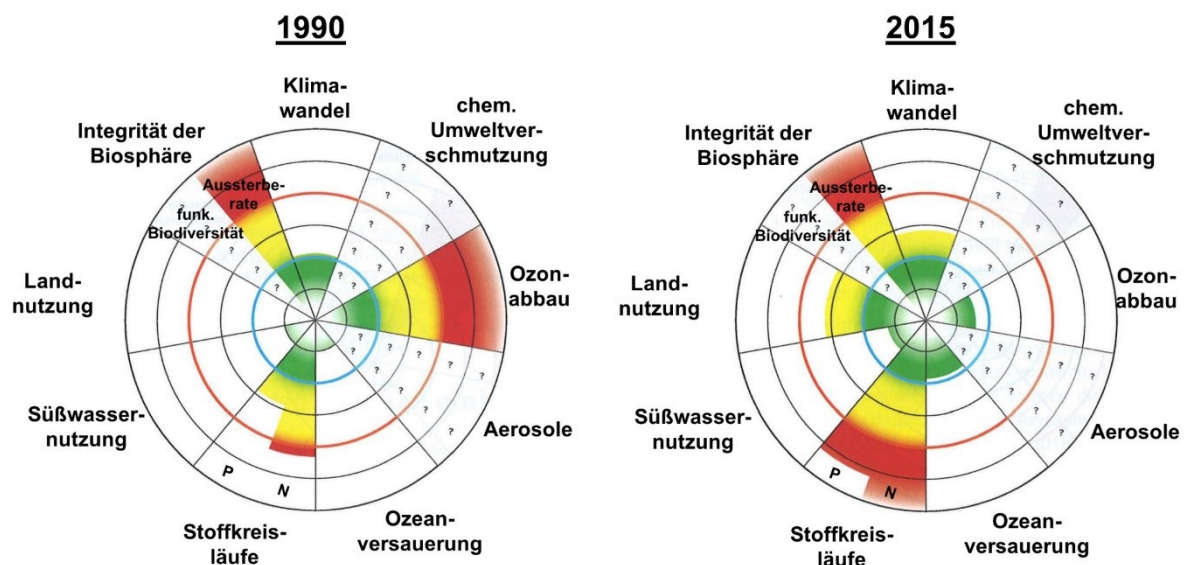


Abb. 2: Planetare Belastungsgrenzen („?“ bedeuten, dass Kontrollwerte bislang nicht definiert sind; eigene Darstellung nach Müller und Niebert, 2017)

Das Modell der planetaren Belastungsgrenzen mag in vielen Dingen kritikabel sein, wie beispielsweise in der Anzahl der Variablen pro Belastungsgrenze. Jedoch repräsentiert es ein grundlegendes Denkmuster, wonach das

Erreichen der SDGs in einem bestimmten ökologischen Rahmen zu geschehen hat. Dies ist ein Denken, das Teil von Nachhaltigkeitsbildung werden muss und zu neuen und innovativen Unterrichtsinhalten führen kann. Die weiter unten diskutierten Beispiele Fracking, Phosphatrückgewinnung und (Grüne) Pestizide fokussieren sowohl die SDGs als auch die planetaren Belastungsgrenzen (Tabelle 1; zur ausführlichen Diskussion siehe unten).

Themen	SDGs (Auswahl)	Belastungsgrenzen
Erdgasgewinnung aus unkonventionellen Lagerstätten durch Fracking	7 Bezahlbare und saubere Energie, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Klimawandel Chem. Umweltverschmutzung
Rückgewinnung von Phosphat aus Abwasser zur Verringerung von Umweltbelastung und zur Gewinnung von Dünger	2 Kein Hunger, 6 Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Stoffkreisläufe Phosphor
(Grüne) Pestizide als alternativer Pflanzenschutz in der Landwirtschaft	2 Kein Hunger, 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion, 14 Leben unter Wasser, 15 Leben an Land	Chem. Umweltverschmutzung Integrität der Biosphäre

Tab. 1: Mögliche neue Unterrichtsthemen für den Chemieunterricht ausgehend von den SDGs und planetaren Belastungsgrenzen

3. Nachhaltigkeitsbildung in den Naturwissenschaften und darüber hinaus

Die Chemie als eine der zentralen Naturwissenschaften und die damit verbundene industrielle Produktion gelten in der öffentlichen Meinung häufig als vorrangige Hauptverursacher von Umweltschäden und Verschmutzung. Dies war in der Vergangenheit sicher auch richtig, wie das Entstehen von Leitlinien um Green Chemistry (Anastas & Warner, 1998) belegen und ist in manchen Ländern möglicherweise heute noch so. Allerdings ist klar, dass die SDGs ohne Fortschritte in Chemie, Physik und Biologie nicht erreichbar sein werden (Matlin et al., 2015). Diese Fortschritte werden aber zumindest in westlichen Ländern nicht mehr, wie früher häufig, in der beliebigen Erweiterung und Intensivierung von Technik gesehen, sondern in nachhaltigen Technologien. Beispielhaft hat sich hierzu in der Chemie seit etwa 20 Jahren das Konzept einer grünen und nachhaltigen Chemie etabliert (Anastas & Warner, 1998). Dieses Konzept fokussiert eine Transformation des Umgangs mit Chemikalien hin zu einer sicheren und ökologisch verträglichen Chemie. Leider finden Beiträge der Chemie zu mehr Nachhaltigkeit oder das Konzept der grünen Chemie aber bislang nur langsam Einzug in den Chemieunterricht (Burmeister, Rauch & Eilks, 2012).

Naturwissenschaftliches Wissen ist wichtig, um einen nachhaltigkeitsorientierten Wandel zu verstehen und mitzugestalten (Matlin et al., 2015). Naturwissenschaftsbezogene Themen der Nachhaltigkeitsdebatte haben eine hohe Relevanz und einen inhärenten Bildungswert, wenn nicht nur technische und ökologische, sondern auch soziale und ökonomische Perspektiven einbezogen werden (Eilks & Hofstein, 2014). Um Themen der Nachhaltigkeit in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren, schlagen Burmeister et al. (2012) am Beispiel der Chemie vier Modelle vor. Diese fokussieren auf (1) den Einsatz nachhaltiger Praktiken etwa beim Experimentieren im Unterricht, (2) die Nutzung von Nachhaltigkeitsthemen als Kontext für fachliches Lernen, (3) die Betrachtung kontroverser Nachhaltigkeitsherausforderungen als eigenständiger Unterrichtsinhalt, sowie (4) nachhaltige Entwicklung als Teil der Schulentwicklung.

Gerade das dritte Modell – kontroverse Nachhaltigkeitsthemen im Unterricht – bietet viel Potential, Themen der Nachhaltigkeitsdebatte mit ihren Unsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht zu thematisieren.

International werden solche Themen als “socio-scientific issues“ (Zeidler, 2015) bezeichnet; darunter versteht man „controversial and ill-structured problems that require scientific evidence-based reasoning to inform decisions“. Es geht darum, dass Lernende mit Themen in Kontakt kommen, “that are personally relevant to them, as well as relevant to societal and global world views“ (ebd., S. 998). Ratcliffe und Grace (2003, S. 2f) kennzeichnen derlei Themen dadurch, dass sie zum einen naturwissenschaftliche Einsichten voraussetzen bzw. fördern und zum anderen dadurch gekennzeichnet sind, dass sie eine wesentliche Rolle im öffentlichen Diskurs einnehmen, strittig auch auf Basis unvollständiger Informationen erörtert werden sowie potenziell lokale, nationale und/oder globale Auswirkungen haben. Nachhaltige Entwicklung selbst wird teilweise als socio-scientific issue verstanden (Simonneaux & Simonneaux, 2012). Kern ist, dass nicht fachliche Inhalte ausgewählt

werden, denen ein Kontext zugeordnet wird, sondern kontroverse Themen an sich zum Unterrichtsthema werden, zu deren Erschließung ein bestimmtes fachliches Wissen erlernt werden muss.

Die Auswahl solcher Themen kann entlang von fünf Kriterien erfolgen: Authentizität, Relevanz, offene Bewertungslage, Diskutierbarkeit sowie Bezug zu Naturwissenschaften und Technik (Eilks, Marks & Stuckey, 2016). Ein Thema muss authentisch in den Medien präsent sein und Entscheidungen müssen Konsequenzen für das Leben der Lernenden oder die Gesellschaft haben. Die Bewertungslage ist offen, was sich in verschiedenen Positionen in der öffentlichen Debatte zeigt, ohne dass das Einnehmen einer Position einen bspw. ethisch oder moralisch inakzeptablen Standpunkt darstellt. Schließlich werden in den Medien Argumente aus Naturwissenschaft und Technik genutzt. Die in diesem Aufsatz diskutierten Beispiele, Fracking, Phosphatrückgewinnung und (Grüne) Pestizide, erfüllen alle diese Kriterien. Allerdings greift bei solchen Themen eine reine Erschließung über naturwissenschaftliches Fachwissen zu kurz. So kann die naturwissenschaftliche Forschung Pestizide entwickeln und ihre Wirkung beschreiben. Diese aber für eine effektivere Nahrungsmittelproduktion zuzulassen, ist eine politische Entscheidung im Spannungsfeld von sozialen, ökologischen und ökonomischen Erwägungen.

Orientiert sich der naturwissenschaftliche Unterricht in Chemie, Physik und Biologie an socio-scientific issues, bekommt er notwendig eine gesellschaftliche Dimension. Ein Unterrichtsfach, bei dem eine solche Kombination gesellschaftlicher und naturwissenschaftlicher Aspekte strukturell angelegt ist und welches sich als Kernfach für BNE versteht, ist das Fach Geographie. Die Standards des Faches der Deutschen Gesellschaft für Geographie sagen hierzu, dass das Fach Geographie „einer Bildung für nachhaltige Entwicklung (vgl. UNESCO-WAP 2014–2019) besonders verpflichtet“ ist (DGfG, 2017, S. 7). Geographie zeigt den klaren Bezug zu einer nachhaltigen Entwicklung, da diese Wissenschaft verstanden wird als „eine Wissenschaft, die Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt in einer vernetzten, integrativen Perspektive in den Blick nimmt.“ (Gebhardt et al., 2011, S. 3).

Bede Häsing und Padberg (2017) betonen, dass auch neue Entwicklungen, wie die planetaren Belastungsgrenzen, Themen der Geographie und des geographischen Unterrichts sind. Themen der Nachhaltigkeitsdebatte werden dabei als Gesellschaft-Umwelt Interaktion verstanden. Auch Grindsted (2015) gibt an, dass Geographie ein besonderes Potenzial für die Umsetzung von BNE aufweist. Vor allem die „spatio-temporal dimensions of sustainability“ (ebd., S. 13) verlangen nach geographischen Perspektiven, um die verschiedenen Interaktionen zu verstehen und zu bearbeiten. Joppich und Uhlenwinkel (2017) untermauern, dass BNE ein Teil des Geographieunterrichts sein muss, und geben darüber hinaus an, dass hierbei auch Fachgrenzen überschritten werden müssen. Zugrunde gelegt werden kann ein drei Säulen Modell, bei denen es sich um die physische Geographie, die Gesellschaft-Umweltforschung sowie die Humangeographie handelt (Weichhart, 2003; Abb. 3). Das Untersuchungsgebiet der physischen Geographie sind verschiedene Sphären (Lithosphäre, Hydrosphäre, ...) und die in diesen Sphären ablaufenden Prozesse und wirkenden Kräfte mit ihren Strukturen und Dynamiken. Gängige Gebiete sind etwa die Klimageographie oder die Geomorphologie. Die Humangeographie hingegen ist eng verwoben mit den Sozialwissenschaften und beschäftigt sich auch mit Dynamiken und Strukturen, doch geht es hier um Kulturen, Ökonomien oder Gesellschaften (Otto, 2015). Im Überschneidungsbereich zwischen diesen beiden Säulen steht die Gesellschaft-Umwelt-Forschung bzw. Mensch-Umwelt-Forschung. Hier geht es um Schnittmengen beider Themen (z.B. Klimaflüchtlinge). Früher galt Geographie dabei oft als Brückenfach zwischen Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Dies muss angesichts der innerfachlichen Differenzen der äußeren Kernfelder jedoch hinterfragt werden (Mönter, 2011). Allen Teilgebieten ist gemein, dass die Fragestellungen einen Raumbezug aufweisen (Wardenga, 2002).



Abb. 3: Drei-Säulen Modell der Geographie (Weichhart, 2003)

Inwiefern können aber nun die klassischen naturwissenschaftlichen Fächer von der geographischen Perspektive der Gesellschaft-Umwelt-Interaktion profitieren? Beispielhaft sei dies an den drei diesem Aufsatz zugrundeliegenden Unterrichtsthemen dargestellt.

Fracking ist eine Technologie, die in Deutschland sehr kritisch gesehen wird und zu der es ein Nutzungsmoratorium gibt. Dies ist in der öffentlichen Diskussion in den USA anders. In Teilen der USA wird Fracking großtechnisch angewandt und zumindest von Teilen des politischen Spektrums und in einigen Staaten sehr positiv gesehen, da es billig fossile Energie bereitstellt, Importabhängigkeit reduziert und Arbeitsplätze sichert. Fracking ist aber auch eine Frage des Klimawandels mit all seinen möglichen Auswirkungen, wozu es sowohl in Deutschland als auch in den USA sehr unterschiedliche Ansichten gibt.

Phosphatrückgewinnung spielt nicht nur unter Gesichtspunkten des Umweltschutzes eine Rolle, sondern auch bei der Sicherung der Versorgung mit Düngemitteln. In vielen Ländern besteht eine große Importabhängigkeit etwa von Marokko, das über ca. 75% der weltweiten Reserven verfügt (USGS, 2019). Düngemittelverfügbarkeit ist aber auch ein Thema der Welternährung und den damit verbundenen Ungerechtigkeiten und Folgen.

Und schließlich ist auch die Frage der Pestizidnutzung eine geographische Frage. In unserer Agrarwirtschaft in Westeuropa mag man mit verhältnismäßig wenig Pestiziden auskommen und steigend auf Biolandwirtschaft setzen. In anderen Ländern, die ihre Nahrungsmittelproduktion kaum sichern können oder vom Lebensmittelexport abhängig sind, mag dies anders gesehen werden. Der Verlust von Biodiversität, der mit dem Pestizideinsatz vermutlich einhergeht, stellt dann ein Problem dar, das nicht nur lokal begrenzte Auswirkungen hat.

Die folgenden drei Unterrichtsbeispiele zeigen, wie man derartige Themen mehrperspektivisch im naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel der Chemie umsetzen kann.

4. Drei Themen – drei Unterrichtsansätze

Die folgend aufgeführten Fallstudien wurden mittels partizipativer Aktionsforschung nach Eilks & Ralle (2002) in Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Lehrkräften entwickelt und durch Fragebögen (Likert-Items sowie offene Fragen) evaluiert sowie mittels deskriptiver Statistik und qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewertet. Unterrichtsmaterialien zu den einzelnen Fallstudien können unter chemiedidaktik.uni-bremen.de/materialien.php abgerufen werden.

4.1 Fracking

Fracking ist ein Verfahren, bei dem durch Einpressen einer Flüssigkeit in tiefliegendes Gestein Risse entstehen, daher wird auch von „hydraulic fracturing“ gesprochen. Durch die Rissbildung entstehen künstliche Fließwege für Erdöl und -gas, die dann abgepumpt werden können. Gerade in den USA stellt es heute ein Standardverfahren dar, wobei es hauptsächlich um unkonventionelle Lagerstätten geht, bei denen die Rohstoffe im Untergrund fein verteilt sind. Das Verfahren wird immer wieder diskutiert, da die verwendete Flüssigkeit je nach Bohrung neben Wasser andere Chemikalien enthält, wie giftiges Methanol. Umstritten ist Fracking aufgrund vieler Faktoren, wie der Nutzung fossiler Energieträger im Kontrast zu einer klimafreundlicheren Zukunft, potentieller Grundwassergefahr durch Teile der Frackingflüssigkeit oder der zurückgepumpten Flüssigkeit nach Beendigung der Maßnahme sowie der Risiken von Erdbeben, wobei aus geowissenschaftlicher Sicht einige Risiken als vertretbar eingestuft werden (Kosinowski, 2016, S. 23).

Das Thema Fracking wurde in einer digitalen Lernumgebung aufbereitet, welche breit über das Thema informiert. Sie präsentiert die Grundlagen des Verfahrens und erläutert die Bestandteile der Fracking-Flüssigkeit, aber ebenso verschiedene Argumente und Stimmen mit Ansichten aus Politik und Wissenschaft werden dargestellt. Die Lernumgebung ist Teil des Unterrichtsvorschlags, bei dem die Lernenden zunächst aus verschiedenen Perspektiven das Thema betrachten, um dann diese Perspektiven in einem Rollenspiel zu vertreten. Bei der Vorbereitung der Rollen geht es nicht um das Lesen der gesamten Materialien der Lernumgebung, sondern das gezielte Suchen nach Argumenten, die die eigene Rolle unterstützen (Zowada & Eilks, 2018). Die Lernumgebung wurde ins Englische übersetzt und in einem vergleichbaren Szenario in den USA in College-Einführungskursen für Chemie genutzt (Zowada, Gulacar & Eilks, 2018). Sowohl deutsche als auch amerikanische Lerngruppen zeigen ein positives Feedback gegenüber dem Thema sowie gegenüber der digitalen Lernumgebung. Ihnen gefiel die transdisziplinäre Aufarbeitung der Thematik, und sie beurteilen diese

gerade wegen ihrer Mehrperspektivität unter Einbezug des Blickes auf Nachhaltigkeit als interessant (Zowada & Eilks, 2018; Zowada, Gulacar & Eilks, 2018).

4.2 Phosphate – kritische Rohstoffe

Die Europäische Kommission (2017) beschrieb Phosphatgestein 2014 und 2017 jeweils als einen kritischen Rohstoff. Dieser Einstufung liegt eine hohe wirtschaftliche Bedeutung bei einem gleichzeitig vorhandenen Versorgungsrisiko zu Grunde. Wirtschaftlich betrachtet werden große Anteile des abgebauten Phosphatgesteins zu Düngemitteln verarbeitet, da Phosphat einen limitierenden Wachstumsfaktor für Pflanzen darstellt. Das Versorgungsrisiko resultiert vornehmlich aus der Verteilung der weltweiten Reserven; rund drei Viertel der bekannten Vorkommen finden sich in Marokko und den Gebieten der Westsahara, die von Marokko beansprucht werden. Zugleich führt die Verwendung häufig zum Eintrag in Gewässer, was im Extremfall eine Eutrophierung bedeutet. Eine Möglichkeit, den Eintrag in die Umwelt und das Versorgungsrisiko zu reduzieren, wäre ein Recycling der Phosphate aus Abwässern und Klärschlamm (Zowada, Siol, Gulacar & Eilks, 2019).

Im Rahmen eines Schülerlaborprojekts wurde das Thema mittels einer digitalen Lernumgebung aufgearbeitet und aktuelle Recyclingverfahren als Schüler*innenexperiment adaptiert. Die Lernumgebung greift verschiedene Aspekte auf, wie die Frage nach der Kritikalität des Rohstoffs oder der Position der Reserven, ebenso wie die Einsatzgebiete von Phosphat. Die Experimente, die in Schule oder Schülerlabor angeboten werden, vollziehen Recyclingverfahren aus der aktuellen Forschung nach und zeigen, wie Phosphat zurückgewonnen werden kann. Über einen Vergleich der Verfahren können Limitierungen aber auch Nutzen der Verfahren auf technischer Ebene herausgearbeitet werden. Die Verbindung der Verfahren zu einer Lösung realer Probleme – einer potentiellen Phosphatknappheit – kann im Nachgespräch aufgezeigt und auf Basis der Lernumgebung vertieft werden. Die digitale Lernumgebung wurde in Deutschland als Vorbereitung auf ein Schülerlabor benutzt, zusätzlich wurde diese an die USA angepasst und analog zu der Fallstudie in 4.1 eingesetzt.

Auch hier war das Feedback in Deutschland und den USA überwiegend positiv. Die digitale Lernumgebung und die Experimente wurden positiv wahrgenommen und die Thematik als interessant empfunden. Die Lernenden mochten die Gestaltung der Lernumgebung und hatten keine Probleme mit dieser zu arbeiten. Die Verbindung von Lernumgebung und Versuchen bewerteten die meisten Lernenden als gut. Auch die amerikanischen Studierenden gaben überwiegend positives Feedback zum Thema selbst, was vielen im Vorfeld nicht bekannt war: “I was shocked how much demand there was for it, and yet, we have not found an adequate way to recycle it for better use.” oder “While reading about the recycling process it dawned on me how little I know about this topic and how scarce the resource is”. Hierbei wird deutlich, dass die Lernenden sich neben inhaltlichen Aspekten vielfach auch auf den Einbezug der Sicht auf mehr Nachhaltigkeit bezogen (Zowada, Siol, Gulacar & Eilks, 2019; Gulacar, Zowada & Eilks, 2018).

4.3 (Grüne) Pestizide

Pestizide, ein Sammelbegriff für Pflanzenschutzmittel (z.B. Insektizide, Fungizide oder Herbizide) und Biozide, sind ein kontroverses Thema, das spätestens seit der Debatte um Glyphosat im Jahre 2017 im öffentlichen Diskurs präsent ist. Die Meinungen hierzu gehen weit auseinander, auch unter Expertinnen und Experten. Der Zulassungsprozess für Pestizide ist zeit- und kostenintensiv. Die Wirkmechanismen sind bei vielen Mitteln bekannt und Gegenstand der Forschung, wobei die Wechselwirkungen und Prozesse teilweise komplex sind, zum Beispiel bei Insektiziden. Diese Komplexität kann im Unterricht nur bedingt abgebildet werden. Selbst die einfache Frage, ob Pestizide für die Ernährung der Welt notwendig sind, kann nicht leicht beantwortet werden. So gibt das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft an, dass ohne Pflanzenschutzmittel Erntemengen zurückgehen und Preise für Lebensmittel vermutlich steigen würden (BMEL, 2017). Manche Studien sehen den ökologischen Landbau als konkurrenzfähig, wenn auf verschiedene Anbauverfahren gesetzt wird. Erntedifferenzen zwischen konventioneller und ökologischer Landwirtschaft lägen bei rund 19 Prozent (Ponisio et al., 2015).

Im Unterricht kann aber über aktuelle Alternativen gesprochen und diese mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln verglichen werden. Eine Alternative sind „Green Pesticides“, also Pestizide die „derived from organic sources that are considered environmentally friendly and cause less harm to human and animal health, to habitats, and to the ecosystem“ (Rathore, 2017, S. 4). Ein Vergleich zeigt hierbei schnell, dass umweltfreundlichere Alternativen Einschränkungen haben können, beispielsweise in Wirksamkeit oder Verfügbarkeit. In einem von uns entwickelten Unterrichtsvorschlag lernen Schülerinnen und Schüler unterstützt

durch Video-Vignetten einer brasilianischen Forscherin, die über grüne Pestizide forscht, konventionelle und grüne Pestizide zu vergleichen. Benutzt werden hier Nachhaltigkeitsnetze bzw. -spinnen, die sich am Konzept der grünen und nachhaltigen Chemie orientieren. Dieser Unterrichtsansatz befindet sich aktuell in der Erprobung.

5. Diskussion und Fazit

Naturwissenschaftlicher Unterricht im deutschsprachigen Raum tut sich nach wie vor schwer mit dem Einbezug einer fundierten Behandlung seiner gesellschaftlichen Dimension. Dies gilt für die Fächer Chemie und Physik mehr als für die Biologie. Die Herausforderungen aus der Nachhaltigkeitsdebatte sind überwiegend nicht ohne die Naturwissenschaften lösbar, weshalb ein an Nachhaltigkeit orientierter Unterricht auf einem fundierten naturwissenschaftlichen Wissen und Verständnis aufbauen muss. Es wurde aber auch gezeigt, dass sich Themen, wie sie sich etwa aus den SDGs oder planetaren Leitplanken ergeben, allein mit naturwissenschaftlichen Blickwinkeln in ihrer Transdisziplinarität nicht sinnvoll verstehen lassen.

Naturwissenschaftlicher Unterricht braucht mehr gesellschaftliche Perspektiven, will er zu relevanter Bildung für eine nachhaltige Entwicklung beitragen. Profitieren kann er dabei von der Geographie, mit ihren Ansätzen der Gesellschaft-Umwelt-Forschung. Zugleich bietet die Geographie zahlreiche Anknüpfungspunkte, etwa die physisch-geographisch orientierte Bodengeographie oder die interdisziplinär orientierte Agrargeographie. Somit lassen sich konsequent ökologische, ökonomische, gesellschaftliche und – wie im „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung“ (Engagement Global, 2016) herausgestellt – politische Entwicklungsdimensionen herausarbeiten.

Die drei vorgestellten Unterrichtsthemen zeigen beispielhaft, wie sich naturwissenschaftlicher Unterricht auf geographische Fragestellungen ausweiten lässt und wie geographische Bezüge direkt in den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert werden können. Dies sollte motivieren, öfter über die eigenen Fachgrenzen hinauszudenken und sich zu überlegen, wie andere fachliche Perspektiven eingebunden werden können. Auch international wird vorgeschlagen Themen, wie Schäden an Ökosystemen, Ozonabbau oder Desertifikation im Chemieunterricht zu behandeln, die von einer geographischen Perspektive profitieren können (Vilches & Gil-Pérez, 2013). Juntunen und Aksela (2014) aus Finnland verweisen darauf, dass die Chemie Effekte auf Hydro-, Geo-, Atmo- oder Biosphären, Umweltverschmutzung oder Effekte auf Ökosysteme wie Versalzung oder Eutrophierung einbeziehen sollte. Sie beziehen sich dabei ausdrücklich auf unterschiedliche Maßstabebenen und damit raumorientierte Fragen.

Die Beispiele in diesem Beitrag zeigen aber auf, dass man auch anders herum denken kann. Dass also chemisch-technische Entwicklungen wie das Fracking, die Phosphatrückgewinnung oder die Pestizidnutzung raumbezogene, geographische Konsequenzen haben, deren Betrachtung im Sinne einer BNE, der SDGs oder der planetaren Leitplanken den Unterricht bereichern und das Verständnis für mehr Nachhaltigkeit erweitern können. Dies ist immer dann der Fall, wenn natürlich gegebene und/oder vom Menschen beeinflusste Aspekte der natürlichen Welt Einfluss auf den Raum und das Leben in dieser Welt nehmen, lokal, national und/oder global.

Zukünftig können gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsvorhaben auch zu anderen Themen realisiert werden, die die beteiligten Fächer betreffen, um so noch breiter zu einer BNE beizutragen. Hierbei kann dann auch einmal die gegenteilige Perspektive beleuchtet werden, etwa wie stärker originär chemische, biologische und physikalische Perspektiven im besser Geographieunterricht einbezogen werden können. Interessant wäre dann auch Forschung in diesem Bereich, wie sich eine solche Verbindung auf die professionellen Sichtweisen von Lehrkräften auswirken würden.

Literatur

- Anastas, P.T. & Warner, C.J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Bedehäising, J. & Padberg, S. (2017). Globale Krise, Große Transformation, Change Agents: Heiße Eisen für die Geographiedidaktik?. *GW-Unterricht*, 146 (2), 19-31.
- Burmeister, M., Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 59-68.

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (Hrsg.) (2017). Rückstände von Pflanzenschutzmitteln - Gesundheit geht vor. BMEL: Bonn.
- Deutsche Gesellschaft für Geographie (DGfG). (2017). *Bildungsstandards im Fach Geographie für den mittleren Schulabschluss*. Bonn: DGfG.
- Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (DUK). (2014). *UNESCO Roadmap zur Umsetzung des Aktionsprogramms „Bildung für nachhaltige Entwicklung“*. Bonn: DUK.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung – Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON*, 9(1), 13-18.
- Eilks, I. & Hofstein, A. (2014). Combining the question of the relevance of science education with the idea of education for sustainable development. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.), *Science education research and education for sustainable development* (S. 3-14). Aachen: Shaker.
- Engagement Global (Hrsg.). (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Bonn: Cornelsen.
- European Commission. (2017). *Study on the review of the list of Critical Raw Materials*. Abgerufen am 01.01.2019 von publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en.
- Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U. & Reuber, P. (2011). *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie*. Heidelberg: Spektrum.
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N. & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305-307.
- Grindsted, T. S. (2015). The matter of geography in education for sustainable development: the case of Danish university geography. In W. Leal Filho (Eds.), *Transformative approaches to sustainable development at universities* (S. 13-24). Cham: Springer.
- Gulacar, O., Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Bringing chemistry learning back to life and society. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Hrsg.), *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future* (S. 49-60). Aachen: Shaker.
- Hofstein, A., Eilks, I. & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education – a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459-1483.
- Joppich, A. & Uhlenwinkel A. (2017). Fächerübergreifender Unterricht zur Nachhaltigkeit: wissens- oder verhaltensorientiert?. *GW-Unterricht*, 145 (1), 18-27.
- Juntunen, M.K. & Aksela, M.K. (2014). Education for sustainable development in chemistry – challenges, possibilities and pedagogical models in Finland and elsewhere. *Chemistry Education Research and Practice*., 15, 488-500.
- Kosinowski, M. (2016). Erdgas-Fracking - eine umstrittene Methode. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 65 (3), S.20-24.
- Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2017). *Zur Situation und zu Perspektiven für nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 01.01.2019 von [kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf).
- Eilks, I., Marks, R. & Stuckey, M. (2016). Das gesellschaftskritisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65(5), 33-37.
- Matlin, S. A., Mehta, G., Hopf, H. & Krief, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, 7, 941-943.
- Mayring P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken*. Frankfurt: Beltz.

- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens, W.W. (1972). *The Limits of Growth*. New York, USA: Universe Books.
- Michelsen, G. (2015). Policy, Politics and Polity in Higher Education for Sustainable Development. In M. Barth, G. Michelsen, M. Rieckmann & I. Thomas (Hrsg.), *Routledge Handbook of Higher Education for Sustainable Development*. Routledge. Abgerufen am 01.01.2019 von routledgehandbooks.com/doi/10.4324/9781315852249.ch3.
- Mönter, L. (2011). Die Verknüpfung von natur- und gesellschaftswissenschaftlicher Bildung – Alleinstellungsmerkmal des Geographieunterrichts?. *Geographie und Schule*, 33 (191), 4-10.
- Müller, M. & Niebert, K. (2017). Verantwortung im Anthropozän. In G. Michelsen (Hrsg.), *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit* (S. 55-70). Wiesbaden: Hessische Landeszentrale für politische Bildung.
- Otto, K.-H. (2015). Geographie und Scientific Literacy – Der Beitrag der Geographie zur naturwissenschaftlichen (Grund-) Bildung. In K.-H. Otto (Hrsg.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung* (S. 1-22). Bochum: HGD-Symposium.
- Ponisio L. C., M’Gonigle, L.K., Mace, K.C., Palomino, J., de Valpine, P. & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20141396.
- Pufé, I. (2014). *Nachhaltigkeit*. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH; München: UVK/Lucius.
- Rathore, H. R. (2017). Green Pesticides for Organic Farming: Occurrence and Properties of Essential Oils for Use in Pest Control. In Nollet, L. M. L. & Rathore, H. R. (Hrsg.), *Green Pesticide Handbook – Essential Oils for Pest Control* (S. 3-25). Boca Raton: CRC Press.
- Ratcliffe, M. & Grace, M. (2003). *Science Education for Citizenship*. Milton Keynes: Open University Press.
- Rieckmann, M. (2018). Die Bedeutung von Bildung für nachhaltige Entwicklung für das Erreichen der Sustainable Development Goals (SDGs). *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, 41 (2), 4–10.
- Simonneaux, J. & Simonneaux, J. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective. *Research in Science Education*, 42, 75–94.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-oriented science education. *Science & Education*, 22, 1873-1890.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, I. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347 (6223), 736-747.
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). (1992). *Agenda 21*. Abgerufen am 01.01.2019 von www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf.
- United Nations (UN). (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. New York: UN.
- Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22, 1857-1872.
- Wardenga, U. (2002). Alte und neue Raumkonzepte für den Geographieunterricht. *Geographie heute*, 200, 8-11.
- Weichhart, P. (2003). Physische Geographie und Humangeographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchner Projekt einer „Integrativen Umweltwissenschaft“. In G. Heinritz (Hrsg.), *„Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild?“ Münchner Symposium zur Zukunft der Geographie*, 28. April 2003. Eine Dokumentation (S. 17-34). Passau.
- United States Geological Survey (USGS). (2019). *Phosphate Rock*. Abgerufen am 14.05.2019 von minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2017-phosp.pdf.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Abgerufen am 01.01.2019 von www.un-documents.net/wced-ocf.htm.

Zeidler, D. L. (2015). Socioscientific issues. In Gunstone, R. (Hrsg.), *Encyclopedia of Science Education* (S. 998-1003). Berlin & Heidelberg: Springer Science+Business Media Dordrecht.

Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Fracking: ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht multimedial umgesetzt. *MNU Journal*, 2018-4, 246-252.

Zowada, C., Gulacar, O. & Eilks, I. (2018). Incorporating a Web-Based Hydraulic Fracturing Module in General Chemistry as a Socio-Scientific Issue That Engages Students. *Journal of Chemical Education*, 95 (4), 553-559.

Zowada, C., Siol, A., Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphatrückgewinnung – angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor. *Chemie Konkret*, angenommen.

Zowada, C., Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019). Geographische Perspektiven in den Naturwissenschaften?. *MNU Journal*, angenommen.

Angaben zu den Autorinnen und Autoren

Christian Zowada: Universität Bremen, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe von Ingo Eilks. christian.zowada@uni-bremen.de

Prof. Dr. Leif O. Mönter: Universität Trier, Fachbereich Raum- und Umweltwissenschaften, ist Professor für Geographie und ihre Didaktik. moenter@uni-trier.de

Prof. Dr. Ingo Eilks: Universität Bremen, Institut für Didaktik der Naturwissenschaften, ist Professor für Chemiedidaktik. ingo.eilks@uni-bremen.de

Bringing chemistry learning back to life and society¹

Ozcan Gulacar^{*}, Christian Zowada^{**}, and Ingo Eilks^{**}

^{*}University of California-Davis, Davis, USA, ^{**}University of Bremen, Bremen, Germany

Teaching undergraduate general chemistry in the USA generally follows a structure-of-the-discipline approach which is challenged by a wider understanding of learning for sustainability, transformative education, and the shout out for a stronger integration of the societal dimension of relevant science education. This chapter highlights the importance of the integration of sustainability-oriented socio-scientific issues into undergraduate chemistry courses in order to promote a more advanced level of scientific literacy. The discussion is illustrated by two case studies completed at the University of California Davis in cooperation with a curriculum development partner in Germany, namely the University of Bremen.

Old concepts, new visions

Projects aiming to transform the world show a significant increase after the United Nations announced the *2030 Agenda for Sustainable Development* (UN, 2015). This agenda is based in a thirty-year period that started with the release of the Brundtland Report in 1987 (WCED, 1987), which introduced sustainability to a broad audience. Since then, the meaning and dimensions of sustainability have been under debate. Among all dimensions, ecological, economic and societal sustainability have been mentioned most widely. These three keystones of sustainability were suggested to be respected in a balanced way for a long time. With the increasing awareness of global and local sustainability challenges in the public, such as climate change, policy and sustainability research started to question the credibility and the appropriateness of the balanced view. Demand was stated for adding new dimensions to sustainability, like cultural (Hawkes, 2001) and political sustainability (Engagement Global, 2016). The inclusion of new dimensions was accompanied by suggestions to enlarge the understanding from isolated to more holistic perspectives. A recent definition proposed by Griggs et al. (2013, p. 306) puts sustainability in this larger context and connects all these dimensions by suggesting: “*Development that meets the needs of the*

present while safeguarding Earth's life-support system, on which the welfare of current and future generations depends."

The title of the Agenda 2030, *Transforming Our World*, leads to the question of what education for transformation or transformative education should be and how it can be realized. The UNESCO suggests learning along four dimensions (UNESCO, 2014, p. 12): 1) learning content, where critical issues like climate change should be integrated into the curriculum; 2) pedagogy and learning environments, which are about "*designing teaching and learning in an interactive, learner-centered way that enables exploratory, action-oriented and transformative learning*;" 3) learning outcomes referring to several competencies like taking responsibility for now and future generations or system thinking; and 4) societal transformation, for which the learners should be empowered towards greener economies and societies and to become global citizens. The term, eco-reflexive education, can be used for this type of approach. It means developing "*a critical stance towards modern society, an understanding of the complexity of life and society and their interactions, and a responsibility for individual and collective actions towards socio-ecojustice and global sustainability*" (Sjöström, Eilks & Zuin, 2016, p. 328).

A historical way to understand transformative education could be related to transformative learning theory as originally suggested by Mezirow (1972), which "*refers essentially to a qualitative shift in perception and meaning making on the part of the learner in a particular learning experience such that the learner questions or reframes his/her assumptions or habits of thought*" (Sterling, 2010-11, p. 19). Riekmann (2018, p. 49), talking on transformative learning, points out that it should be better understood "*by its aims and principles, not by a concrete teaching or learning strategy*". An understanding of transformative education that goes beyond traditional transformative learning theory could be justified in terms of the Central and Northern European tradition of *Bildung* (Sjöström, Eilks & Zuin, 2016). The *Bildung*-concept understands learning beyond the acquisition of knowledge. It is more about character formation and growth of a person through learning aiming to achieve a broad set of critical skills and the one's highest potential, and it is very relevant for curriculum innovation in science education (Sjöström, Frerichs, Zuin & Eilks, 2017). *Bildung* provides a justification as well as a call for a stronger societal perspective in science teaching to develop skills for life in a democratic and sustainable society (Sjöström, 2013). Educators and researchers who see the missing societal dimension in science teaching shout out for a stronger societal perspective (Hofstein et al., 2011).

In line to basing transformative education in the concept of *Bildung*, the *German Advisory Council on Global Change* (2011, p. 352) in their flagship report, *A Social Contract for Sustainability*, defines transformative education as a system that "*generates an understanding of different options for action and solution approaches*." Any learning perspective which puts emphasis on content knowledge only is not suitable to make learners able to develop and contribute to

solutions for crucial problems of our time. In our understanding, transformative education is a makeover of education for sustainable development and a framework for also addressing broader concepts like the Sustainable Development Goals (UN, 2015) or the idea of planetary boundaries (Steffen et al., 2015). It is suggested as a chance and challenge to bring certain topics into broader discussion and make them accessible to education.

Transformative education, socio-scientific issues, and chemistry teaching

One of the important questions is where young people can acquire knowledge to deal with current and future transformation challenges. All institutions providing formal and non-formal education in any subject have a role in fulfilling this task, among them secondary and tertiary chemistry education. Especially for students taking one or two prerequisite science courses such as general chemistry, it is highly important to get knowledge and skills to learn how to make informed decisions about current and future issues and act as responsible citizens.

Traditionally, undergraduate general chemistry courses follow a structure-of-the-discipline approach and therefore will lead at best to fundamental content knowledge in chemistry. Due to this relatively less effective approach in terms of developing critical scientific literacy as suggested by Sjöström and Eilks (2018), students in these courses miss a valuable chance to have enriched learning experiences that promote a broader skill set for societal participation. An alternative, more effective, approach here could be incorporating socio-scientific issues (SSI) into the curriculum, which are “*controversial and ill-structured problems that require scientific evidence-based reasoning to inform decisions about such topics*” (Zeidler, 2015, p. 998). Zeidler (2015, p. 1001) summarizes possible advantages of using SSIs in science classrooms: “*Promoting developmental changes in reflective judgment, moving students to more informed views of the nature of science, increasing moral sensitivity and empathy, increasing conceptual understanding of scientific content, increasing students’ ability to transfer concepts and scaffold ideas, revealing and reconstructing alternative perceptions of science, facilitating moral reasoning, improving argumentation skills, promoting understanding of eco-justice and environmental awareness, engaging students’ interest in the inquiry of science.*”

Considering the fact that many students in the USA prefer to take general chemistry to complete their science prerequisite, it is important to integrate a stronger societal perspective to these courses in order to prepare them to become responsible citizens in the future. Instructors of general chemistry courses should incorporate a certain concept of *Bildung* relating the learning of content knowledge in chemistry with a view on how relevant chemistry is for society in order to help students developing judgement and decision-making skills regarding today’s big issues such as sustainability and transformation (Sjöström, 2013). Using SSIs to approach chemistry learning is a suitable concept to connect the

learning of chemistry with developing an understanding of its societal relevance. This method could also boost students' motivational levels, which are usually low in chemistry classrooms, and make them interested in learning the subject matter (Osborne & Dillon, 2008).

SSIs can lead to discussions on ethics with scientific practices (Sadler, 2004), aid informal reasoning, develop multi perspectives on current issues, and overall, can teach how to make evidence-based decisions (Wu & Tsai, 2007). SSIs are perceived positively by the students. Most of them liked learning science content through discussions of relevant topics like doping (Stolz, Witteck, Marks & Eilks, 2013), bioethanol (Feierabend & Eilks, 2011), or tattooing (Stuckey & Eilks, 2014). Ottander and Ekborg (2011) used six different SSIs. All of them were perceived current and authentic and five out of six were perceived interesting. Carefully selected SSIs can help bringing the learning of chemistry back to life and society. Criteria for selection can follow Stolz et al. (2013) (Table 1).

Table 1. Criteria for selecting challenging SSIs for science education (Stolz et al. 2013)

Criteria	Description
Authenticity	The topic is authentic, because it is currently being discussed by society and in the media.
Relevance	The topic is relevant, because individual or societal decision are to be made that will affect the current or future lives of the students.
Open evaluation situation with respect to a societal relevant question	Societal evaluation is open and different points-of-view are available in the public debate and the media.
Allows for open discussions	The topic can be discussed in an open form; different views on the topic can be articulated.
Deals with an issue based on sciences or technology	The topic concerns itself with a techno-scientific query, which is based scientific knowledge and its application.

Obstacles in teaching undergraduate chemistry

General chemistry represents one of the first main challenges that most STEM (Science Technology Engineering Mathematics) majors must face on their path towards a future in the sciences, and yet the both students and faculty involved often find the course slightly disappointing (Cooper, 2010). Some of the most common complaints are that general chemistry sacrifices depth to cover too many topics, ignores the fact that a significant number of students are not chemistry majors or have the same background, and follows an instructional design that is inconsistent with research on how students learn.

General chemistry has its roots in the 1960's. Since then material has been added to the curriculum, but very little material has been removed (Cooper, 2010). The

inclusion of all this new material leaves little room for connecting these concepts with the occurrences of the outside world and leading to the common sentiment among students that think chemistry is dull and irrelevant (Cardellini, 2012).

Concepts covered in general chemistry have strong relation to other biological and physical phenomena, yet students fail to appreciate this connection because the interdisciplinary relation as well as the practical influence of chemistry in everyday life fail to be stressed in many general chemistry curricula (Sumter & Owens, 2011). In fact, a common response from students interviewed and asked what they remember about general chemistry is that there is no overarching theme (Cooper, 2010). The frustration stems from the rigidity of the general chemistry curriculum that has experienced little change since its implementation. However, efforts have been made to stress the connection among chemistry and other subjects in the sciences by strongly encouraging students to enrol in general chemistry and general biology concurrently, or by having the instruction in general chemistry being divided between two professors of different fields (e.g, a professor of biology and a professor of chemistry) (Wolfson, Hall & Allen, 1998)

Another issue with the instruction of general chemistry is that many of the students enrolled do not have the same baseline understanding of chemical principles, giving some students an advantage and making it difficult for professors to grasp/maintain the attention of most, if not all, students (Cardellini, 2012). The difficulty is finding a way to “slow down” the presentation of material in order to give professors enough time to go into greater depth (that may help cement the concept into the mind of the students), as well as giving the students more time to potentially catch up to the scope of the class.

Although much research has been done on the mechanism of student learning, the general chemistry curriculum and the method of instruction have utilized a small percentage of research-verified recommendations (Cooper, 2010). Even if chemistry professors implement some promising practices such as the flipped classroom or integrating elements of history of chemistry (Cardellini, 2012; Deri, Mills, & McGregor, 2018), they still have difficulty with engaging a diverse group of students in the discussions and motivating them to learn the material.

How can changes be made?

For increasing motivation levels of students, making chemistry relevant, and showing the connections between chemistry, society and daily life, two socio-scientific issues were recently integrated into discussion sessions as a part of general chemistry courses in two consecutive years at the University of California-Davis, namely hydraulic fracturing and phosphate recovery. The both issues followed an SSI-based framework and aimed to help students to gain economic, political, and geographical perspectives in chemistry education to develop a holistic view on these topics. A special feature in this research is integrating a geographical perspective into chemistry education.

The German Geographical Society (2014) suggests the role of geography in making education relevant and meaningful. This can be used also to inform chemistry education. It is suggested that geography contributes to education due to dealing with “*relevant phenomena and processes such as globalization, climatic change, earthquakes,...*” (p. 5). The strength of geography is analyzing and focusing on the connection between nature and society. So, chemistry teaching incorporating a geographical perspective involves parts of science as well as social science and the connection between both and as such “*is particularly committed to education for sustainable development*” (p. 7). Grindsted (2015, p. 13) further emphasized that “*the spatio-temporal dimensions of sustainability call for geographical approaches to be able to understand the dynamics, complexity and interactions in various scales.*”

Two SSIs were introduced to undergraduate chemistry education for incorporating economic, political and geographical perspectives via PreziTM learning environments, originally developed for German secondary level chemistry education. PreziTM was chosen as the platform because it has an open layout and lets the audience easily navigate through presentations in all directions possible, rather than necessitating them to go in one-way only like in PowerPoint-presentations. The digital learning modules were created in German first, then translated into English and some information focusing the German situation was replaced by fitting information for the USA. The development of these modules was based on participatory action research (Eilks & Ralle, 2002) in which teachers take active roles in designing and running the curriculum innovation. The creation of the second digital learning environment, which focused on phosphates, is part of the ARTIST (Action Research to Innovate Science Teaching) project (Eilks, Frerichs & Kapanadze, 2018). Each digital learning module was designed in a way that students can easily navigate within the environment and focus on the information, which is important for their personal interest and for their task. This focus is an important component of the socio-critical and problem-oriented approach to science education (Marks & Eilks, 2009).

During the discussion sessions, the students were split into groups of four with each having a different role, which gave them certain foci on the topic, while working with the PreziTM module. These different perspectives helped them have great discussions and learn the importance of becoming critical thinkers.

Hydraulic fracturing and phosphate recovery

A first teaching example, that we implemented, was about hydraulic fracturing (short: fracking). Fracking is based on using a hydraulic medium (so called fracturing fluid) for letting cracks occur. Fracking is mostly used for extracting natural gas or crude oil from unconventional deposits, where the raw material is more dispersed compared to conventional deposits. The fracturing fluid serves for connecting many little reservoirs to raise the efficiency of the drilling. Fracturing

fluids contain mostly water – together with chemicals, which can be dangerous or harmful for living organisms (like methanol), in small amounts. Another ingredient are proppants for keeping the already created cracks open. After detection of crude oil or natural gas, a common drilling is used for moving tubes into the underground. After reaching the compartment the fracturing fluid is pumped down. Afterwards, the natural gas or crude oil can be pumped up. This technique is used in the USA daily meanwhile there is a factual ban in Germany. There is still a lot of discussion on different issues connected to hydraulic fracturing like earthquakes, climate change, and potential contamination of drinking water. The digital learning environment focuses on four main topics: the process, the fracturing fluid, the situation in media as well as different views on fracking and environmental issues (earthquakes, climate, drinking water, demand of water, and release of radioactivity) (Zowada, Gulacar & Eilks, 2018).

A second recently implemented example focuses phosphate recovery. The risks and facts on phosphates are probably not well known, although phosphorus is one of the best examples within the concept of planetary boundaries (Steffen et al., 2015). The issue is, that phosphorus respectively phosphate is too much used e.g. due to fertilizer consumption. Phosphate is indeed an irreplaceable ingredient of fertilizers. The European Commission (2014) announced phosphate rock as critical raw material referring to the high economic importance and certain supply risk. Phosphate as mineral can be found in a large amount only in a few countries (especially Morocco, Western Sahara, China, and the USA) and phosphate fertilizers are consumed with about 70% by China, India, the USA and Brazil. While the largest reserves are located in Africa, only 2% of the world's phosphate is consumed in this continent (Killiches, 2013). To educate students on this topic and increase students' awareness of a possible phosphate crisis, the nations' dependence on phosphate was highlighted and its recycling methods were presented inside the digital learning environment. The digital learning environment focusses on four questions: What is phosphate, how is phosphate used, why is phosphate a limited resource and how can phosphate be recycled (Figure 1). Both given topics are reflected in Table 2 to their appropriateness to serve as socio-scientific issues for chemistry education.

Experiences

Both case studies were perceived positively by students. Recently, a paper was published about the findings of hydraulic-fracturing study (Zowada et al., 2018). The analysis of student's responses revealed that most students liked this approach that deals with a topic of public interest. Most of the students found the topic relevant to themselves and made most of them realize how some decisions can be complex regarding chemical issues. In some open questions, students mentioned that it is an obligation for them to become successful and responsible chemists and learn more about this topic and other controversial issues. Although the

majority liked the activity and discussion around hydraulic fracturing, a small group of students criticized that this topic does not have anything to do with their major and it is not necessary to learn since it is not going to be on the test.

Figure 1. Learning environment on phosphate recovery

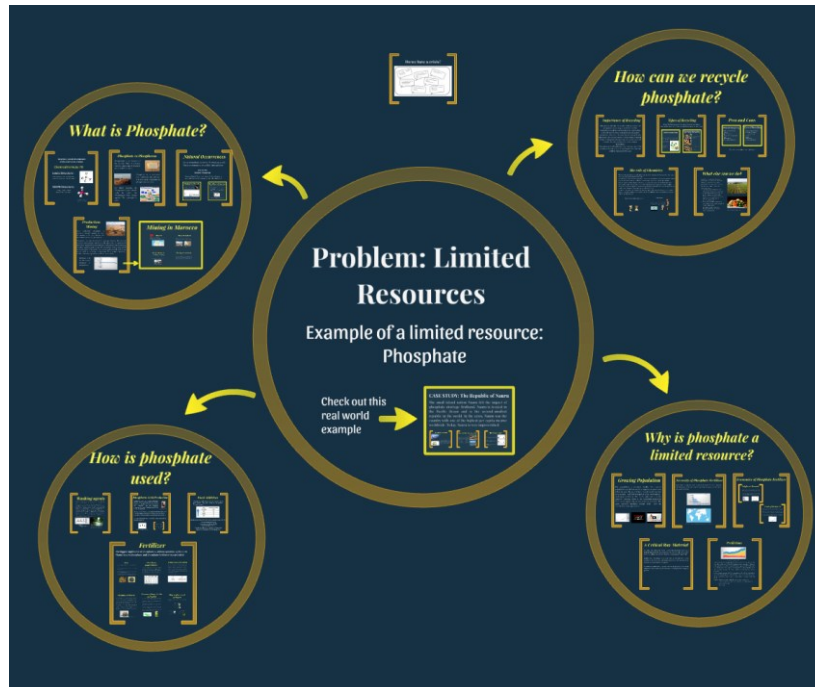


Table 2. Applied criteria for SSI-topics (Stolz et al. 2013)

Criteria	Hydraulic fracturing	Phosphate
Authenticity	There is debate in many countries (e.g. the USA) about the use of fracking, which includes a lot of media attention. There are several documentaries and spots from supporters or opponents.	Media reported that the EU labeled phosphate as a critical raw material. Reports on problems in world food production are available and refer to the availability of fertilizers.
Relevance	Fracking will have a global influence on climate change. In some countries, decisions are to be done whether to further invest in fracking (like in the USA) or to keep the current moratorium (like in Germany).	Phosphate fertilizers are essential for any agriculture. Decisions are to come whether to invest in phosphate recovery to conserve resources and make importing countries independent from phosphate providers.
Open evaluation situation with respect to a societal relevant question	Supporters and opponents to fracking provide pro and con arguments in terms of economic, ecological and political perspectives, especially in the USA.	There is no final decision whether society or the market justifies investment in phosphate recovery technologies for wastewater treatment plants.

Allows for open discussions	Generally, one can discuss the issue of fracking since opposing opinions about it are accepted in society.	One can discuss openly about phosphate recovery since there is no current emergency and technologies are under development.
Deals with an issue based on science or technology	Fracking is a technical process under use of chemicals and with relevance to the environment and climate change. Scientific arguments are used in the public debate.	The recovery of phosphates is both an economic and environmental issue. In terms of protecting the environment against high phosphate exposure arguments from science are generally used.

By integrating the phosphate module into the curriculum, the preliminary results show that students learned lots of new information. More than 60 % of the students think that a topic like phosphate recovery should be an integral part of the general chemistry curriculum. Most of the students favorably shared their experience on surveys and indicated that they learned new applications of chemistry in a meaningful way. Similar to the results of previous the study that introduced hydraulic fracturing, a big group of students liked the intervention a lot. A student expressed his thoughts about the importance of the issue to society comparing to the significance of his grade to himself *“this issue is far more important than my grade, as it impacts human survival”*. Another student also supported the integration of topic and said that *“it is a very important topic that more individuals should be aware of.”* While it is good to hear these positive comments on the implementation of this method, it also became clear that the educational system trains students in a way that they care about their grades more than anything else. A student echoed previous critiques and said that: *“I just do not see how knowing about phosphate recycling is going to help me get a good grade on my final; can't make the connection.”* After the implementation of the first case-study, the pre-post design determined that students' motivation has increased in several areas as determined with MUSIC model (Jones, 2009). Although the analysis of the second study has not been finalized yet, it seems that the perception survey results will be similar to those determined after the hydraulic fracturing study.

Conclusion and implications

Integrating SSIs in general chemistry teaching showed positive results in perception of the students. The results show that integrating such topics by using a more holistic view (integrating geographical, economic and political perspectives) hold several advantages for preparing students to become future citizens who act responsibly and achieve a certain level of critical scientific literacy (Sjöström & Eilks, 2018). If a good plan is prepared to show students how

to evaluate complex and controversial issues, today's challenges like climate change or ocean acidification could be understood better and more effective methods could be suggested to show the public how to approach and deal with such problems now and later. The integration of more specific SSIs and engaging more and more students in the discussion of these issues are desirable and worthy goals for educators. A change of the whole curriculum would be probably necessary to integrate more SSI-based learning scenarios (Tytler, 2012). As the survey results indicated that many students are motivated to engage in discussion more eagerly if they know the material they learn will be on the test. Therefore, it is important that instructors of the courses include some questions from these topics and assess how students understand different perspectives of these complicated issues and if they can recommend feasible solutions.

Current political arguments and scientific debates on the sustainable development goals, planetary boundaries, and the concept of the anthropocene should be involved explicitly or implicitly in teaching chemistry, both at the secondary and tertiary educational levels. Different ideas on how to integrate them were presented in this chapter. Integrating geographical, economic and political perspectives seems promising in cases where a "pure" chemical/scientific perspective might not be holistic enough and make the connection between natural and social science more visible to students. Even more important goal is to show students that chemistry and physics have strong connections with issues relevant to society. Achieving this goal would increase students' interest and boost their motivation. The overall aim of teaching, where a diverse group of learners go through, should be adopting a more *Bildung*-oriented curriculum (Sjöström, 2013) to educate future citizens who are able "*to make informed, responsible choices in an increasingly complex world, and to adapt to the continuous changes that the world undergoes*" (Elmose & Roth, 2005, 31).

Acknowledgement

We thank the *Deutsche Bundesstiftung Umwelt* (DBU) for supporting the creation of the digital learning environment on phosphates.

References

- Cardellini, L. (2012). Chemistry: why the subject is difficult? *Educación química*, 23, 305-310.
- Cooper, M. (2010). The case for reform of the undergraduate general chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 87, 231-232.
- Deri, M. A., Mills, P., & McGregor, D. (2018). Structure and evaluation of a flipped general chemistry course as a model for small and large gateway science courses at an urban public institution. *Journal of College Science Teaching*, 47(3), 68-77.
- Eilks, I., Frerichs, N., & Kapanadze, M. (2018). Action Research to Innovate Science Teaching (ARTIST) - an EASMUS+ CBHE initiative. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Eds.). *Building bridges across disciplines for transformative education and sustainability*. Aachen: Shaker.

- Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Participatory action research in chemical education. In B. Ralle, & I. Eilks (Eds.). *Research in Chemical Education - What does it mean?* (pp. 87-99). Aachen: Shaker.
- Elmose, S., & Roth, W.-M. (2005). Allgemeinbildung: readiness for living in risk society. *Journal of Curriculum Studies*, 37, 11-34.
- Engagement Global (Eds.) (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Bonn: Cornelsen.
- European Commission (2014). Report on critical raw materials for the EU. www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf. (May 31, 2018).
- Feierabend, T., & Eilks, I. (2011). Teaching the societal dimension of chemistry using a socio-critical, problem-oriented lesson plan based on bioethanol usage. *Journal of Chemical Education*, 88, 1250-1256.
- German Advisory Council on Global Change (WBGU) (2011). World in transition - A social contract for sustainability. www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2011/wbgu_jg2011_en.pdf (May 31, 2018).
- German Geographical Society (Eds.) (2014). Educational standards in geography for the intermediate school certificate - with sample assignments. geographiedidaktik.org/wp-content/uploads/2014/11/edu_standards_geo_3_2014_web.pdf (May 31, 2018).
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305-307.
- Grindsted, T. S. (2015). The matter of geography in education for sustainable development: the case of Danish university geography. In W. Leal Filho (Eds.). *Transformative approaches to sustainable development at universities* (pp. 13-24). Cham: Springer.
- Hawkes, J. (2001). *The fourth pillar of sustainability: culture's essential role in public planning*. Melbourne: Common Ground.
- Hofstein, A., Eilks, I., & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education - a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany, and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459-1483.
- Jones, B. D. (2009). Motivating students to engage in learning: The MUSIC model of academic motivation. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 21, 272-285.
- Killiches, F. (2013). Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit. BGR (Eds.) on behalf of Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ). Hannover: BGR.
- Marks, R., & Eilks, I. (2009). Promoting scientific literacy using a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching: concept, examples, experiences. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4, 231-245.
- Mezirow, J. (1978) Perspective transformation. *Adult Education*, 28(2), 100-110.
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: critical reflections*. London: Nuffield Foundation.
- Ottander, C., & Ekborg, M. (2012). Students' experience of working with socioscientific issues - a quantitative study in secondary school. *Research in Science Education*, 42, 1147-1163.
- Rieckmann, M. (2018). Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In A. Leicht, J. Heiss, & W. J. Byun (Eds.). *Issues and trends in education for sustainable development* (pp. 39-59). Paris: UNESCO.

- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of Bildung. In J. Dori, Z. Mevarech & D. Baker (Eds.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education* (pp. 65-88). Dordrecht: Springer.
- Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V. G., & Eilks, I. (2017). Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning, *Studies in Science Education*, 53, 165-192.
- Sjöström, J., Eilks, I., & Zuin, V. G. (2016). Towards eco-reflexive science education - a critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education*, 25, 321-341.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-oriented chemistry education. *Science & Education*, 22, 1873-1890.
- Sterling, S. (2010-11). Transformative learning and sustainability: sketching then conceptual ground. *Learning and Teaching in Higher Education*, 5, 17-33.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, I. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736-747.
- Stolz, M., Witteck, T., Marks, R., & Eilks, I. (2013). Reflecting socio-scientific issues for science education coming from the case of curriculum development on doping in chemistry education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 9, 361–370.
- Stuckey, M., & Eilks, I. (2014). Increasing student motivation and the perception of chemistry's relevance in the classroom by learning about tattooing from a chemical and societal view. *Chemistry Education Research and Practice*, 15 156-167.
- Sumter, T. F., & Owens, P. M., (2011). An approach to teaching general chemistry II that highlights the interdisciplinary nature of science. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 39, 110-116.
- Tytler, R. (2012). Socio-scientific issues, sustainability and science education. *Research in Science Education*, 42, 155–163.
- United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (May 31, 2018).
- UNESCO (2014). Roadmap for implementing the global action programme on education for sustainable development. unesdoc.unesco.org/images/0023/002305/230514e.pdf (May 31, 2018).
- Wolfson, A. J., Hall, M. L., & Allen, M. M. (1998). Introductory chemistry and biology taught as an interdisciplinary mini-cluster. *Journal of Chemical Education*, 75(6), 737.
- World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). Our common future. www.un-documents.net/wced-ocf.htm (May 41, 2018).
- Wu, Y.T., & Tsai, C.-C. (2007). High School Students' Informal Reasoning on a Socio-scientific Issue: Qualitative and quantitative analyses. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1163-1187.
- Zeidler, D. (2015). Socioscientific issues. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 998-1003). Dordrecht: Springer.
- Zowada, C., Gulacar, O., & Eilks, I. (2018). Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.

Anhang II: Perspektive von Lehrkräften

Die hier aufgeführte Publikation zeigt, Lehrkräfte zum Integrieren geographischer Perspektiven in den Chemieunterricht stehen.

Zowada, C.; Frerichs, N. & Eilks, I. Promoting a more holistic education for sustainable development through integrating geographical perspectives into chemistry education – the chemistry teachers' view. *International Journal of Science and Mathematics Education*, eingereicht.

Die hier beschriebene Interviewstudie wurde durch mich durchgeführt. Bei der Erstellung des Leitfadens und Vorüberlegungen wurde sich mit Ingo Eilks und speziell Nadja Frerichs beraten. Nadja Frerichs half mir bei der Zusammenstellung des Samples. Alle Interviews wurden durch mich durchgeführt und von mir transkribiert und ausgewertet. Bei der Auswertung half mir Nadja Frerichs, welche auch Interviews gegencodierte.

Das Manuskript wurde durch mich vorbereitet und dann mit den weiteren Autor*Innen bearbeitet.

Teachers' perspective**Promoting a more holistic education for sustainable development through integrating geographical perspectives into chemistry education – the chemistry teachers' view**

(MANUSCRIPT)

Christian Zowada*¹, Nadja Frerichs^{1**}, and Ingo Eilks^{***1}¹Department of Biology and Chemistry, Institute for Science Education, University of Bremen, 28334 Bremen, Germany

* christian.zowada@uni-bremen.de

** n.frerichs@uni-bremen.de

*** ingo.eilks@uni-bremen.de

Telephone +49 421 21863284 / Fax +49 421 21863288

Abstract

Chemistry, with its related technical applications, is of crucial importance for creating a sustainable future. Without chemistry, current challenges cannot be solved, such as the achievement of most of the Sustainable Development Goals (SDGs) issued by the United Nations, or the adherence to the planetary boundaries, e.g. concerning novel chemical entities released to the environment, biochemical flows, or climate change. However, such challenges can only be solved via a transdisciplinary approach and never can be fully explored by a single discipline only, neither in reality nor in the context of teaching and learning. In order to strengthen education for sustainable development (ESD), we suggest to include geographical perspectives into science education with a focus on chemistry. Geography commits itself to the analysis of human-environment-systems and combines social perspectives with those from natural sciences. In our opinion, such a view can increase the educational value of chemistry learning. For exploring the chemistry teachers' views on implementing geographical perspectives, an explorative interview study with twelve purposefully selected chemistry teachers was conducted. The study reveals that chemistry teachers, in the case of Germany, regard such an inclusion generally positive, but see limitations due to the curriculum and time constraints.

Keywords

Secondary/undergraduate chemistry education, Education for Sustainable Development, Geography, Teacher education

Introduction

About 50 years ago, the report “*The Limits to Growth*” questioned human behavior in the 20th century (Meadows, Meadows, Randers & Behrens, 1972). A glimpse into today’s media reveals that challenges are still growing from local to global levels, e.g., the increasing release of novel chemicals, extensive biochemical flows of phosphorus or nitrogen compounds into the environment, plastics pollution of the oceans, or the challenges associated with climate change. Especially climate change gained growing media attention recently in many countries when pupils started a movement demonstrating under the slogan “*Fridays for Future*“. But, not only is the climate changing due to mankind’s behavior. The growing influence of mankind on the Earth system led researchers to claim that our current age should be re-named to the man-made age – the Anthropocene (Crutzen & Stoemer, 2000). Since the 1950s the human influence on the Earth system is clearly visible (Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney, Ludwig, 2015) and planetary boundaries - boundaries in which the Earth system is considered to be safe - have been crossed (Steffen et al. 2015). Science educators respond to this development by using terms like earth in crisis (Bybee, 1991) or planetary emergencies (Vilches & Gil-Pérez, 2013). Human behavior needs to change allowing current generations to fulfill their needs and securing the future generation to fulfill theirs (WCED, 1987). Acknowledging this claim resulted in the suggestion of the three basic dimensions of a sustainable development for our future, namely ecological, economic and societal sustainability (UN, 2015). A current framework how mankind should develop sustainably is given by the United Nation Agenda 2030 (UN, 2015) comprising 17 Sustainable Development Goals (SDGs). In this context, quality education (SDG4) is suggested as an education for sustainable development (ESD). ESD is a challenge and opportunity, both for education in general and all the subjects in particular, among them chemistry education.

In the case of Germany, all subjects are suggested by educational policy to contribute to ESD, and this has to take place crossing disciplinary borders (KMK, 2017). Crossing disciplinary borders means that chemistry teaching can no longer focus on teaching only chemistry content knowledge (Sjöström, 2013). There is a need to include a bigger picture of chemistry by thinking outside the box and including societal dimensions of science into teaching (Mahaffy, Krief, Henning, Mehta, Matlin, 2018; Sjöström, Eilks & Zuin, 2016), which still are often neglected perspectives in science education in many countries (Hofstein, Eilks & Bybee, 2011). In this article we reflect bridging gaps between science education, in the case of chemistry, and geography. An explorative interview survey was performed in which chemistry teachers were asked about their perception of integrating geographical perspectives into secondary school chemistry teaching.

Theoretical framework and background

Teaching chemistry and education for sustainable development

Without a doubt, chemistry is important for a sustainable future and for achieving most of the SDGs (Matlin, Mehta, Hopf & Krief, 2015). Chemistry’s action and sustainability, however,

are often seen to be contradictory in the public perception, as also exemplified by the planetary boundary of novel entities (Steffen et al., 2015). Nevertheless, there is a strong effort in chemistry and its associated technological ramifications to change the practice of chemistry for the sake of sustainability. For almost 20 years, there have been ideas associated with the terms Green Chemistry (Anastas & Warner, 1998) or Green and Sustainable Chemistry (GSC) (UNEP, 2019), focusing on safe and ecologically benign chemistry.

Despite all efforts of chemical research and industry for more sustainability, the concept of sustainability is rarely found in many secondary chemistry curricula in the world (Burmeister, Rauch, & Eilks, 2012; Jegstad & Sinnes, 2015, Vilches & Gil-Pérez, 2013). The same is the case in higher chemistry education in many countries, however, many individual initiatives started in recent years (Eilks & Zuin, 2018). This still existing gap of implementation is the case although the interconnectedness of chemistry and sustainability for relevant education has often been highlighted (Burmeister, Rauch, & Eilks, 2012; Eilks & Hofstein, 2014; Tytler, 2012; Vilches & Gil-Pérez 2013; Juntunen & Aksela, 2014) and connections of chemistry education to the idea of the Anthropocene have been made already (Mahaffy, 2014). Topics from the sustainability debate have been suggested to raise the relevance and inherent values of science education in general (Stuckey, Hofstein, Mamlok-Naaman & Eilks, 2013), and chemistry education in particular (Eilks & Hofstein, 2014). Integrating sustainable development into teaching is described as a fruitful opportunity and challenge especially for chemistry teaching to strengthen its societal dimension (Eilks & Hofstein, 2014).

Chemistry education and geography

Vilches and Gil-Pérez (2013) refer to the still existing lack of topics from the sustainability debate in science education and, beyond that, they regard “planetary emergencies” as potential topics. They name, e.g., ecosystem degradation, ozone depletion or desertification. Juntunen and Aksela (2014) suggest to connect chemistry to effects which can be found in the hydro-, atmo- and biosphere. They name pollution of the environment or effects in ecosystems as being appropriate, like eutrophication. They refer to space related questions and focus on questions on different scales from local to global, typical views from the field of geography. Vilches and Gil-Pérez (2013, p.1860) point out: *“Although each problem is of particular importance and deserves individual attention, none of them can be understood or addressed without taking into account the whole ensemble”*. This is also emphasized by Uitto and Soloranta (2017) highlighting that especially biology, geography and history teachers use different dimensions of sustainability and more holistic approaches. They refer to geography and biology in order to integrate cross-curricular topics and address competences dealing with sustainability. Geography might help integrating more sustainability-oriented topics and a more holistic view. Generally, the *“quest for holism”* has already been raised (Stables & Scott, 2002; p.53).

Geography is commonly defined, e.g., by Gebhardt, Glaser, Radtke and Reuber (2011; p.3; translated) as *“a science, which focuses on society, economy and the environment from a cross-linked, integrative perspective”*. In formal education in Germany, geography is either a subject on its own right or taught together with history and politics, in both cases combining social science and (natural) geo-science perspectives. Although in the perception of many people geography is often related to topography only (Gans & Hemmer, 2015), today’s aim of teaching geography, as e.g. formulated for Germany, is promoting spatial-oriented action competence

(GGS, 2012). Moreover, geography is suggested to be “*particularly committed to education for sustainable development*” (GGS, 2012; p.7). Bedehäsing and Padberg (2017) suggest that new developments, such as the concept of planetary boundaries (Steffen et al. 2015), should become essential topics of geography teaching. In geography education, these topics are understood in the means of society-environment-interaction. According to Grindsted (2015) especially spatio-temporal dimensions as prevalent in sustainability issues need a geographical perspective in order to cope with dynamism and complexity on different scales, from local to global perspectives.

The need for inter- and transdisciplinary views

Joppich and Uhlenwinkel (2017) underline that ESD should become part of geography lessons, and also state that disciplinary boundaries must be crossed. A three-pillars model of geography can be used for better understanding this point of view. The model is composed of physical geography, society-environment-research, and human geography (Weichhart, 2003; see Figure1). Physical geography focuses on different spheres (lithosphere, hydrosphere, atmosphere ...) and the natural processes and forces acting in these spheres with different structures and dynamics. Common areas include climate geography or geomorphology. Human geography is closely interwoven with the social sciences and also deals with dynamics and structures, focusing on cultures, economies or societies. It usually deals with societies in a certain space and time (Otto, 2015). The overlap between these two pillars is the society/human-environment-research, emphasizing intersections of both topics (e.g. migration caused by climate change: climate refugees). Overall, the strength of geography can be found in the specific focus on the connection between natural and social sciences (Mönter, 2018).

Figure 1. *Three pillar model of geography (according to Weichhart, 2003)*



Generally, teachers can be seen as gate keepers to include new concepts and ideas into teaching, so their perspective is of high importance. Thus, a positive view from teachers towards new ideas is of great importance. Although hardly implemented in many countries, interdisciplinary teaching is not a new idea (Labudde, 2014; Czerniak & Johnson, 2014). It is suggested to have advantages to provoke higher interest in science, especially among girls (Bennett, Lubben & Hogarth, 2007). In a study by Czerniak, Lumpe and Haney (1999), teachers stated that thematic units foster the interest in science teaching and lead to a more meaningful perception on the one hand. On the other hand, teachers (in the same study) are generally worried about “watering down” the curriculum, high time demand, and a need for appropriate teaching and learning materials. For Germany, Häsing (2009) showed that in upper secondary education teachers started to use interdisciplinary approaches because they were driven by the wish to overcome disciplinary boundaries. Stübiger, Ludwig, Boss, Gessner and Lorberg (2006) reported that

teachers use interdisciplinary approaches to mostly strengthen systems thinking, complex problem-solving strategies and multiple perspectives/change of perspectives. They highlight that especially for complex topics, interdisciplinary teaching is a suitable approach which is, however, often perceived as time consuming.

Socio-scientific issues and inter-/transdisciplinary views

A field of science education research and curriculum development where scientific and social perspectives come together are socio-scientific issues (SSIs). Already, Burmeister et al. (2012) or Eilks and Hofstein (2014) suggested to focus on controversial challenges of the sustainability debate as topic in the means of SSIs for teaching relevant chemistry. SSIs are topics which are „*controversial and ill-structured problems that require scientific evidence-based reasoning to inform decisions...*” and “*... are personally relevant to them [the learner], as well as relevant to societal and global world views*” (Zeidler, 2015, p. 998). Among these topics is sustainable development as such which can be understood as an SSI itself (Simonneaux & Simonneaux, 2012). The teaching should equip the learner with the required knowledge to promote decision making, including the social surroundings of the topic (Sadler, 2011). For selecting suitable topics Stolz, Witteck, Marks and Eilks (2013) suggested the following five criteria: authenticity, relevance, open evaluation, openness to debate, and a foundation in science and technology. If science education in general and chemistry teaching in particular are based on SSIs, it inevitably focuses a societal dimension.

SSI-based science education is suggested as a suitable framework for integrating science learning with ideas from geography to promote ESD (Zowada, Mönter & Eilks, 2019a). Most German geography curricula emphasize sustainability with geography’s emphasis being stronger than in chemistry education. Geographical perspectives might help if a traditional scientific view does not show the whole picture. Chemistry teaching may acknowledge that many chemistry-related SSIs have a socio-geographical dimension, e.g. when it comes to understanding the global biochemical flows of nitrogen and phosphorous compounds or climate change – and potential actions for limiting effects on nature and societies (e.g. Zowada, Siol, Gulacar & Eilks, 2019b). Of course, this might also be the case vice versa - in some cases a closer scientific perspective might help geography teaching fostering sound scientific understanding (Zowada et al., 2019a).

Curriculum innovation for integrating chemistry with geographical perspectives

The studies discussed above refer to ESD and interdisciplinary teaching that can be typically described as being taught between two or more subjects. In this paper, we discuss using geographical perspectives within chemistry teaching which can be understood as transdisciplinary or interdisciplinary (Labudde, 2014). So far, none of the above-mentioned studies focus explicitly on including geographical perspectives into chemistry education and, moreover, to our knowledge no suggestions of including such a perspective can be found in the literature in a systemic and evidence-based fashion.

In relation to this study and according to the frameworks discussed above, three curriculum design cases were developed by participatory action research (Eilks & Ralle, 2002). The cases aim at integrating geographical perspectives into chemistry education, both for secondary and undergraduate chemistry education. They focus on the following topics: hydraulic fracturing

and its potential impacts on the economy, potential environmental pollution and for climate change (Zowada, Gulacar & Eilks, 2018), the biochemical flow of phosphorous compounds into the environment and the raw materials supply of phosphates connected to new chemical innovations from environmental technology for phosphate recovery from waste water (Zowada et al., 2019b), and conventional pesticide use in comparison with organic alternatives for green agriculture (Zowada, Frerichs, Zuin & Eilks, 2019c).

The three cases were implemented into chemistry education and included geographical perspectives which can be widened to other subjects like biology or economy education. This implicates at least to a certain extent an interdisciplinary or transdisciplinary approach. Interdisciplinary approaches are crucial for teaching a broader picture especially when it comes to ESD-driven topics which are interdisciplinary per se (Joppich & Uhlenwinkel, 2017). Based on the experiences of the three cases and the conclusions from the depicted theoretical framework we believe that this type of inclusion is a promising approach. For thorough implementation, however, knowledge of teachers' views would be helpful. For that reason, this survey focuses on science teachers' views on including geographical perspectives into science teaching in the case of twelve German secondary chemistry teachers.

Research Questions

For inspiring the implementation geographical perspectives into science teaching the views of twelve chemistry teachers were surveyed to answer the following research questions:

1. What do chemistry teachers associate with "geography" based in their own experiences?
2. Do teachers intentionally or unintentionally integrate geographical perspectives into their chemistry lessons? Do teachers have ideas for implementing geographical perspectives into chemistry teaching?
3. How do chemistry teachers consider the integration of geographical perspectives into chemistry teaching?
4. Do teachers see obstacles for integrating geographical perspectives into chemistry teaching?

Sample and method

Sample

The sample consisted of twelve chemistry teachers which were identified according to the principles of purposeful sampling (Patton, 1990). All teachers came from north-western Germany and teach in the same school type called *Gymnasium*. The *Gymnasium* comprises lower and upper secondary education and is mainly attended by higher achieving students with the aim to prepare them for academic studies. Since in Germany every teacher has to study and teach at least two subjects, we decided to choose teachers who teach chemistry with any second subject, except geography. Differentiation was made among teachers according to whether the second subject is from the domain of science or any other area. A heterogeneous sample was compiled considering the teaching experience, the second subject, and the school environment. The teaching experience was given a higher priority than age, gender or second subjects, in order to achieve a differentiation between experts and semi experts, where the line is commonly drawn at ten years' teaching experience (Ericsson, Krampe & Tesch-Römer, 1993) (Table 1).

Table 1. Overview of the sample (science = biology or physics)

Gender	M	F
	7	5

Experience	< 10y 6	>10y 6
Subjects	chemistry, science 7	chemistry, non-science 5
Environment	rural 6	urban 6

Method

For answering the research questions, semi-structured interviews on teacher's beliefs and experiences in their daily teaching were conducted (Aguirre & Speer, 2000; Verloop, van Driel & Meijer, 2001). One of the aims was to gain new ideas as well as a general insight into the inclusion of geography-related topics. Even more importantly, there was an inherent opportunity to gain knowledge on the perception of approaches integrating a geographical perspective. The interview guide was designed to address the research questions. The guide consisted of a set of main questions with additional sub-questions in order to lead to high flexibility during the interview. Additionally, cue cards with potential topics were used in case a teacher could not name any in the corresponding part of the interview. In the central part, the teachers were introduced to the above mentioned three-pillars model of geography (Figure 1). To provide a narration prompt, the teachers were asked about their own geography lessons (as pupils). Afterwards, they were supposed to define what geography is and name potential overlaps of chemistry and geography teaching. The next section focused on their own teaching. First, the teachers were asked to name intersections between geography and chemistry in their chemistry classrooms. If such intersections existed, it was further asked for a concrete example and whether a geographical perspective has been used, intentionally or unintentionally. Afterwards the three-pillar model of geography was explained by the interviewer. The teachers were encouraged to locate chemistry inside the model. As a next step, the teachers were asked to name advantages and disadvantages of integrating a geographical perspective into chemistry teaching and whether they might consider integrating such a perspective in the future. To gain a more in-depth view on this question, it was asked for reasons or obstacles which the integration might depend on and whether they can think of a concrete example. At the end the teachers were asked to formulate an opinion on including a geographical perspective into chemistry teaching and whether they want to add anything (Table 2).

Table 2. *Overview of the structure of the interview guide.*

Guiding idea	Question
Personal experience / narration prompt	What are your memories about your own geography classes (as a student)?
Personal understanding of geography	Define what geography is for you?
Overlapping of both subjects	Can you describe similarities or overlaps between geography and chemistry?
Personal usage	To what extent are similarities between geography and chemistry reflected in your chemistry lessons? Are those used intentionally?
The model in Figure 1 was presented and explained	
Overlapping of both subjects according to a model of geography	Where do you see overlaps or how can you fit chemistry into the model?

Potential advantages and disadvantages	Do you think of any advantages or disadvantages?
Willingness to include overlaps	To what extent can you imagine intentionally addressing overlaps in your lessons?
Reasons for usage	When you think about your own teaching, can you describe the reasons which it will depend on?
Creation of potential teaching examples	Can you think of topics, where this overlapping can be put to class?
Requisitioning after hearing a model on geography	If I ask you again if you've used overlaps of geography and chemistry in your teaching, would you add anything else?
Opinion	Give your own opinion on the integration of a geographical perspective into chemistry teaching.

The interview guide was piloted with two interviewees. The interviews were carried out in German and varied from 12-29 minutes. They were audio taped and transcribed. The interviews were analyzed using qualitative content analysis (Kuckartz, 2014) which is a cyclical and step-by-step analyzing method for qualitative data. Using the interview guide as a starting point, deductive categories were outlined which were revised and extended by inductively formed categories in an iterative process. This process was repeated until the data analysis was saturated. Table 3 gives an overview of the core category grid. Each core category was divided in sub-categories (except opinion).

Table 2. *Core categories resulting from the analysis of the interviews.*

Category	Description
Memories	Memories on own geography lessons were coded.
Definition	The understanding of geography from the teacher's perspective was coded.
Topics	Topics were coded where teachers see a potential opportunity for an overlap.
Overlaps	General statements on overlaps between chemistry and geography were coded.
Connections to own teaching	Connections between chemistry and geography, which occurred in the own teaching, were coded.
Advantages/disadvantages	Advantages and disadvantages were coded regarding the using a geographical perspective in chemistry teaching.
Reasons/obstacles	Reasons and obstacles were coded regarding the use of a geographical perspective in chemistry teaching.
Opinion	Statements where the teachers gave an opinion on the integration were coded.

After developing the category system, all interviews were coded by two coders. Agreement was generally high from the beginning. Cases of divergence were then discussed to reach inter-rater agreement, which can be understood as or concurrent coding (Hopf & Schmidt, 1993). According to Kuckartz (2018), such an approach is an appropriate way to gain a good inter-coder reliability in the means of inter-subjective agreement (Swanborn, 1996). All translations of quotes presented below were checked by an English native speaker which is fluent in both English and German.

Findings and discussion

Chemistry teachers' views on geography

The teachers formulated different memories of their former geography classes in school. Half of the sample stated to have hardly any memories on this issue. Negative connotations have been connected to the teacher but also to specific content like learning topographical facts. Three teachers stated that the subject was not challenging and repetitive. On the other hand, one teacher stated that geography was his/her favorite subject, others referred to the natural science side inside geography classes or courses. One teacher questioned whether he/she ever had “real” geography lessons and another teacher claimed that geography was perceived as being difficult and not interesting but from today’s view he/she considered it a pity.

Regarding the personal understanding of geography nine out of twelve teachers made connections to topography, namely that they had to learn capital cities or draw rivers into maps. Ten teachers referred to topics which can be connected to physical geography, like climate or mountain structures or how the earth is shaped. Seven teachers named topics in the scope of human geography like globalization or sociological aspects. Only one teacher explicitly highlighted the interdisciplinary perspective of geography by describing it as being “*a wild mix of everything*”. This teacher also explicitly mentioned “*physical geography*”. Half of the teachers came up with topics stemming from physical and human geography without drawing connections between the two fields. Except the above-mentioned teacher, none of the teachers referred to parts of the model from Figure 1. It could be observed that generally teachers with science (biology or physics) as a second subject named more aspects defining geography.

Experiences and ideas of integrating chemistry education with geography

As a central part of the analysis, topics were coded (each time they appeared in the interview) where the teachers described potential overlaps between chemistry and geography teaching. It is important to emphasize that the mentioned topics were teachers’ personal and spontaneous ideas. Moreover, the students’ interest of geographical topics can differ widely compared to teachers’ interest as Hemmer & Hemmer (2017) reported. In a nutshell, teachers prefer topographical and physical geographic topics connected to Germany, while students prefer topics from the human geography outside of Europe. In the interviews a great number of topics were listed so that some of the original first level subcategories were further divided gaining several second level subcategories. Those categories are resources, climate, and complex topics. In Table 4 an overview of the mentioned topics is given. Every topic was only assigned to one category. For instance, in case the topic “recycling of metals” was named it was assigned to “recycling” and not to “metals”. When the topic “climate change” was mentioned it was categorized as “climate change” and not assigned to “complex topics”. The code “analysis methods” refers to methods like measuring the pH-value in soil or the radio carbon dating method. Regarding the topic of cycles most teachers referred to the carbon cycle. Regarding the first subcategories, it could be observed that primarily teachers with biology or physics as a second subject mentioned cycles and natural disasters. Topics from chemistry curricula are “typical” topics like the chemical equilibrium or the physical state without any context. The category “economy” contains topics such as the construction of a new chemistry plant or transport routes of resources.

The last three subcategories (resources, climate and complex topics) contained the majority of codes. Nearly all teachers provided examples here. Among the examples mentioned in the “resources” category especially fossil fuels (mostly crude oil) and metals (mostly connected with the question how and where to extract them) were mentioned. It could be observed that teachers from urban areas mention both recycling as well as metals more frequently. Especially the first aspect might be, for instance, explained with waste management being a more present topic in urban areas. Older, more experienced teachers referred to the traditional topic of metals (five vs. one teacher) more frequently. Regarding climate, many teachers referred to climate change, but the limitation here is that this topic was also mentioned by the interviewer as an example while explaining the model of geography.

Table 4. *Overview of topics with the number of teachers naming the topic and the total number of codes (bold: first level subcategory / italic: second level subcategory; T = teachers and TNC= total number of codes)*

Categories	T	TNC	Categories	T	TNC
Analysis methods	4	6	Climate	11	4+42
Topics of chemistry curricula	7	9	<i>Climate Change</i>	9	24
Rocks/soil/ minerals	5	10	<i>Ocean Acidification</i>	1	4
Cycles	4	10	<i>Atmosphere</i>	5	7
Agriculture	2	3	<i>Ozone</i>	1	7
Natural/environ. disasters	5	6	Complex topics	12	0+52
Economy	4	12	<i>Connections to humans</i>	6	14
Resources	12	10+40	<i>Conflicts on resources</i>	9	18
<i>Salts</i>	3	4	<i>Mobility</i>	5	10
<i>Recycling</i>	3	6	<i>Sustainability</i>	4	10
<i>Fossil fuels</i>	6	12			
<i>Metals</i>	6	18			

Both more and less experienced teachers mentioned a similar amount of aspects. In our opinion, especially the subcategory “complex topics” needs further consideration: For coding a topic as a “complex topic” it needed to have a scientific basis (like electro mobility) with implications from a social side (like economy or politics) – these indicators can be generally understood as a high number of influences and non-linear ways of finding potential solutions which can make a topic complex (Rempfler & Uphues, 2012). Topics connected to humans contained examples such as climate refugees, the risks regarding nitrogen oxides pollution, as well as the questions where people might live in future and how food will be produced. More teachers with science as a second subject named such topics.

The category “conflicts of resources” addresses topics like (potential) wars on water resources or the discussion how western countries appropriately deal with resources from less developed countries for technological innovations, such as computers. Mobility addresses the big question of future individual or collective transportation options (e.g. electro mobility). The last category focuses on sustainability itself in case it was explicitly mentioned by the interviewee. A stronger presence of corresponding codes in interviews from urban teachers was observed for the topic’s “mobility” and “sustainability”. Moreover, electro mobility was mostly mentioned by younger, less experienced teachers from urban areas which can also be possibly traced back to a stronger

presence of such technologies in cities. Interestingly, electro mobility aspects could only be found in the interviews of the teachers teaching chemistry in combination with biology or physics as a second subject. All the mentioned topics were double coded in case the interviewee clearly emphasized that he or she taught about this topic in chemistry class. Here topics from all categories were taken into consideration, such as climate change, processes in the atmosphere, metals or the carbon cycle.

The category on “overlaps” between chemistry and geography led to different subcategories. Some teachers gave statements on how they would generally quantify the amount of overlaps. Eight teachers said that there is a great number of overlaps, while three teachers said that the number is limited. All of the more experienced teachers (compared to two less experienced) quantified the number of overlaps as being large. One teacher said that *“there are more overlaps than I previously thought.”* One teacher could be placed in both categories due to the fact he mentioned the presence of potential overlaps in the beginning of the interview but struggled with their presence while the interview progressed. This might be explained by the fact that this teacher incorporated the interview focus quite late. Some teachers also described overlaps to other subjects, especially to biology and physics – one teacher even referred to history. Two teachers suggested that the overlaps are more often present at the upper secondary school level. After an input on the model of geography (Figure 1) some teachers gave general statements where they saw overlaps - mainly located between physical geography and chemistry. This is unsurprisingly because this part has a priori scientific perspective and it is generally perceived as being more interesting among teachers (Hemmer & Hemmer, 2017). The two other fields were less connected to chemistry.

Connections to their own teaching practices were made several times. During the interviews, the teachers were asked about the integration of geography into their own chemistry teaching. Every teacher presented an example, after which the teachers were asked whether they deliberately had geography in mind while teaching the mentioned issue. At this point two teachers agreed and ten disagreed. The teachers were also asked whether they would generally use a geographic perspective in their chemistry teaching, to which eleven teachers gave a positive response. Interestingly, seven teachers stated that a geographical perspective can be found implicitly in chemistry teaching when certain topics are addressed, e.g. while focusing on the societal dimension of chemistry teaching: *“This means that in regular teaching there are naturally contact points which can be linked with contexts”* or *„I don't believe that this is done deliberately, but it still surfaces in many different places.“* Two teachers referred to reasons why they might use or have used a geographical perspective – although they seemed to be not aware of their own implementation. The first reason was presumed in strengthening evaluation on several topics. The second one was personal involvement. A teacher saw a documentary on child labor in sulfur mines while teaching the topic of sulfur, so he/she instantly decided to integrate this perspective into his/her teaching. During the interview, two teachers even started to outline new ideas for their chemistry teaching. One of them described a potential project on e-mobility where he/she would focus on the way how e-cars work (electrochemistry) and geography might focus on space related questions, for instance the location of the charging stations. Other teachers started to think of adding a more space related perspective when he/she introduces physical states in the fifth grade.

Teachers' perception of integrating chemistry education with geographical perspectives

It is suggested that the questions dealing with pros and cons of the integration of geographical perspectives into chemistry teaching from a teacher' perspective are the most crucial ones concerning chances of successful implementation. Some potential benefits of integration of chemistry with geographical perspectives were given by only one teacher. The enrichment of teaching chemistry through pupils' views who might have migrated from other countries was suggested: *"...it may be that a student originally came from a country which we are talking about in class. Then he or she can contribute to the discussion with personal experiences from that country."* Two teachers referred to knowledge which might be useful for other subjects and another two stated that the human influence might be easier to show based on this view.

Two teachers referred to a better methodical competence that can be fostered through an integration of geographical perspectives, e.g. how to read data due to the fact that this goes in line with general educational goals formulated by to the German geographical society for teaching geography (GGS, 2014). Two teachers mentioned that this might lead to an improvement of students' memory capacities; three mentioned better connections to certain topics or that it might be a good way to increase variety in teaching. The following advantages were mentioned more often – e.g. an increase in interest and/or motivation among the students (by seven teachers) or a better connection to everyday life or contexts (by six teachers). Similar conclusions were reported by Bennett et al. (2007) or Czerniak et al. (1999).

The most often found answer (stated by ten teachers) was that adding a geographical perspective might lead to a more holistic view on certain topics leading to the ability to see a greater picture: *"The world out there is not strictly divided into black and white, but is rather the exact opposite. The cosmos is a big, big place and for that reason things have to be interconnected. But separations or dividing lines also have to be drawn in certain places."* Or: *"Yes of course, that is a holistic story, so that one can draw upon scientific competencies in social contexts..."* This goes in line with the findings of Stübiger et al. (2006).

Eight teachers also referred to positive attitudes on interdisciplinary teaching in general *"Yes, I think, as I said in the example I used a bit earlier, it's always good when you combine subjects with each other, because both the environment and life are also not bound to a particular subject."* This can be seen as an urge to teach across disciplinary boundaries (Häsing, 2009). Generally, such aspects were mentioned by urban and rural teachers equally often. Half of the sample explicitly stated that the interview enriched their knowledge and/or personal views on interconnected topics in general and on geography in particular: *„To be honest, in the beginning I was a little bit critical - I asked myself whether the idea fits or not. Part of this was also because I myself did not experience good geography lessons in school. This conversation made it clear to me that there are many overlaps. Just as I said, it is very important to me that learning connects to the everyday lives of the students and also to the conversations, of course. Learners come from different countries and then they can bring that into the discussion. I think that's wonderful. There is more overlap in this area than I thought at first."* These were for the most part the less experienced teachers, so (based on our small sample) we might cautiously conclude that more experienced teachers have gained less new knowledge during the interviews itself due to the fact that they have previously already described more overlaps.

Two teachers reflected that they realized that they have been using a geographical perspective while teaching unconsciously. Three teachers explicitly addressed that there won't be any or

only a few disadvantages by adding a geographical perspective into chemistry teaching: „Disadvantages..., well, I think that anything seen in terms of disadvantages would simply be due to the fact that teachers are not used to teaching in this way. Above all, the student is viewed as somebody just sitting in front of me, who is not used to experiencing and processing the complexity presented.“ Only less experienced teachers pointed out that they don't see any disadvantages at all.

Referring to sustainability aspects, they were not of high visibility in this interview study at first glance, except those teachers who mentioned them explicitly. But, in many of the suggested topics, like climate change, conflicts on resources, mobility, economy, fossil fuels or recycling, however, the idea sustainability was implicitly incorporated. Also, the SDGs (UN, 2015) or the planetary boundaries (Steffen et al., 2015) can be connected to many topics mentioned by the teachers. Furthermore, all those teachers who mentioned the advantages of showing the greater picture or interdisciplinary teaching in general implicitly include the value driven debate of sustainable development due to the many variables and questions which make this debate so challenging. Teaching about sustainable development does not necessarily mean addressing this topic itself or naming its dimensions, but it is rather about incorporating sustainability as an underlying concept, which was inherent in many answers given by the teachers. The rare links to sustainability might also be grounded in the fragmental theoretical knowledge of teachers on concepts of sustainable development which has been reported already by previous research (e.g. Vilches & Gil-Pérez, 2013).

Disadvantages and suggested obstacles for integrating chemistry education with geographical perspectives

A few disadvantages (which were, however, coded less frequently in general) were also mentioned. Five teachers raised the concern that they might lose some structure of the discipline and would no longer be able to teach the “pure chemistry”, which can also be found in other studies on teachers' views (Czerniak et al. 1999). One teacher raised the concern that it might take great efforts designing suitable material and another pointed out that it might be important to show that every discipline has its own charm. Two teachers said that a connection can be made everywhere if someone would be willing to.

The integration of geographical perspectives was related to obstacles or specific reasons. One teacher referred to factors such as personal interest, the need for content knowledge in geography, communication among teachers, and the question of what school should generally aim at. Three teachers referred to structural reasons, meaning that the school systems or the structure of school itself makes such in integration difficult: „I think that implementation will require structural changes and/or the breaking of current thought patterns. Some time will also have to be invested in teacher training in this regard, especially when it comes to the didactics of chemistry in order to sensitize people.“ Three teachers brought up the fact that other topics might also be important, and teachers cannot fulfil everything. Additionally, the pupil's perspective might also be an important factor according to four teachers. The most mentioned obstacles for an integration of geographical perspectives into chemistry teaching were a comprehensive fit with the topic currently taught in chemistry (seven teachers) as well as time constraints (eight teachers). A general consensus was that the integration might be fruitful, but that time is always a limiting factor. It was noticeable that urban teachers emphasized the need

for a thematic fit more while rural teachers alluded to time constraints. Seven teachers said that they would like to implement such a view in case there would be good material to use. Both factors – time and material - are coherent with Czerniak et al. (1999).

In every interview except one a generally positive opinion towards the integration of a geographical perspective was found. While analyzing the data, gender differences were not our main focus, nevertheless some distinctions could be observed. For instance, more female teachers pointed out topics connected to humans (four vs. two male teachers). Regarding the limitations of an integration of a geographical perspective, more male teachers accentuated time constraints (six male vs. two female teachers) and only male teachers (three) referred to structural lacks in school.

Conclusion and implications

Chemistry education continues to struggle with the inclusion of a sound treatment of its social dimension (Hofstein et al., 2011) and the inclusion of ESD (Burmeister et al., 2012) on the one hand; most challenges of the sustainability debate cannot be solved without chemistry on the other (Matlin et al., 2015). Coming from these two claims, sustainability, the SDGs or the planetary boundaries concept are suggested to inspire and enrich the teaching of chemistry and broaden chemistry learning towards ESD (Eilks & Hofstein, 2014). The design cases mentioned above demonstrate that chemical-technical developments from the sustainable development debate, such as fracking, phosphate recovery or pesticide use (Zowada et al., 2018; Zowada, 2019b; Zowada et al., 2019c), are suitable for secondary and undergraduate chemistry education. Topics like these regularly have spatial, geographic consequences that are worth to be taken into account when teaching these topics in chemistry education. This is always the case when natural and/or man-influenced aspects of the natural world influence space and life in this world locally, nationally and/or globally.

Chemistry education needs more societal perspectives (Hofstein et al. 2011) if it wants to contribute to relevant education and ESD (Eilks & Hofstein, 2014). In doing so, chemistry may profit from links to geography, with its approaches to society-environment-research and space-relations in general. This point of view is supported by the interview study in this paper where teachers named several overlapping topics, like climate change, and pointed out advantages like teaching in a more holistic way. Teachers called for new teaching and learning material but saw the curriculum and time constraints as the most crucial limiting factors.

The approach of integrating geographical perspectives into chemistry teaching was perceived positively by most of the teachers. Future research might focus deeper on ways of overcoming the suggested limitations, e.g. by developing corresponding teacher education and continuous professional development providing the teachers skills needed for inter- and transdisciplinary teaching based on ESD-related SSIs (Mamlok-Naaman, Eilks, Bodner & Hofstein, 2018). In preparing continuous professional development and new teaching and learning materials, factors like time as well as a fit to the curriculum are important to keep in mind as well as the fact that structural obstacles in the curriculum must be overcome. The three cases already developed and implemented (Zowada et al., 2018; Zowada et al., 2019b; Zowada et al., 2019c) might provide suitable guidance to create further lesson plans, e.g., on electro mobility or resource conflicts. In addition, the vice versa perspective of adding chemistry-related points of view towards geography teaching might be of interest. Of course, all the findings presented in

this study are limited by the small sample size and the restriction to the German educational background only. Nevertheless, they might allow first insights on how such inter- or transdisciplinary perspectives between chemistry and geography are perceived by teachers for the sake of a well-tuned curriculum development and implementation.

References

- Aguirre, J. & Speer, N. M. (2000). Examining the relationship between beliefs and goals in teacher practice. *Journal of Mathematical Behavior*, 18, 327-356.
- Anastas, P.T. & Warner C.J. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Bedehäsing, J. & Padberg, S. (2017). Globale Krise, Große Transformation, Change Agents: Heiße Eisen für die Geographiedidaktik? [Global Crisis, Transition, Change Agents: A Hot Potato for geography educators?]. *GW-Unterricht*, 146, 19-31.
- Bennett, J., Lubben, F. & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91, 347-370.
- Burmeister, M., Rauch, F. & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 59-68.
- Bybee, R. (1991). Planet earth in crisis: How should science educators respond?. *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153.
- Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. (2000). The “Anthropocene”. *IGBP Newsletter*, 41, 17.
- Czerniak, C. M. & Johnson, C. C. (2014). Interdisciplinary science teaching. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research in science education* (Vol. II, pp. 395-411). New York: Routledge.
- Czerniak, C. M., Lumpe, A. T. & Haney, J. J. (1999). Science teachers' beliefs and intentions to implement thematic units. *Journal of Science Teacher Education*, 10, 123-145.
- Eilks, I. & Zuin, V. (2018). Special Issue "Green chemistry in education". *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, A4-A6 and 16 ff.
- Eilks, I. & Hofstein, A. (2014). Combining the question of the relevance of science education with the idea of education for sustainable development. In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Eds.), *Science education research and education for sustainable development* (pp. 3-14). Aachen: Shaker.
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Participatory Action Research in Chemical Education. In B. Ralle & I. Eilks (Eds.), *Research in Chemical Education - What does it mean?* (pp. 87-98). Aachen: Shaker.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T. & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363– 406.
- Gans, P. & Hemmer, I. (Eds.) (2015). *Zum Image der Geographie in Deutschland – Ergebnisse einer empirischen Studie* [On the image of geography in Germany - results of an empirical study]. Leipzig: Leibniz-Institut für Länderkunde.
- Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U. & Reuber, P. (2011). *Geographie – Physische Geographie und Humangeographie* [Geography – Physical Geography and Humangeography]. Heidelberg: Spektrum.

- German Geographical Society (Eds.). (2014). Educational standards in geography for the intermediate school certificate - with sample assignments. vgdh.geographie.de/wp-content/docs/2014/10/geography_education.pdf (20.10.2018).
- Grindsted, T. S. (2015). The matter of geography in education for sustainable development: the case of Danish university geography. In W. Leal Filho (Eds.), *Transformative approaches to sustainable development at universities* (pp. 13-24). Cham: Springer.
- Häsing, P. (2009). *Fächerübergreifender Unterricht in der gymnasialen Oberstufe aus Sicht der Lehrender – eine qualitative Studie* [Interdisciplinary teaching in upper secondary school from the teachers' point of view - a qualitative study]. University of Kassel, Kassel: kassel university press.
- Hemmer, I. & Hemmer, M. (2017). Teachers' interests in geography topics and regions – How they differ from students' interests? Empirical findings. *Review of International Geographical Education Online*, 7(1) Spring, 9-23.
- Hofstein, A., Eilks, I. & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education – a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459-1483.
- Hopf, C. & Schmidt, C. (1993). *Zum Verhältnis von innerfamilialen sozialen Erfahrungen, Persönlichkeitsentwicklung und politischen Orientierungen: Dokumentation und Erörterung des methodischen Vorgehens in einer Studie zu diesem Thema* [On the relationship between inner-familial social experiences, personality development and political orientations: Documentation and discussion of the methodological approach in a study on this topic]. Retrieved from www.ssoar.info/ssoar/handle/document/45614 (15.5.2019).
- Jegsted, K. M. & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry teaching for the future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655-683.
- Joppich, A. & Uhlenwinkel A. (2017). Fächerübergreifender Unterricht zur Nachhaltigkeit: wissens- oder verhaltensorientiert? [Focusing on Knowledge or Behaviour? - Cross-Disciplinary Curriculum-Making in the Context of Education for Sustainable Development.]. *GW-Unterricht*, 145(1), 18-27.
- Juntunen, M.K. & Aksela, M.K. (2014). Education for sustainable development in chemistry – challenges, possibilities and pedagogical models in Finland and elsewhere. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 488-500.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* [Qualitative text analysis. Methods, practice, computer assistance]. Weinheim: Beltz Juventa.
- Kuckartz, U. (2014). *Qualitative text analysis. Methods, practice, computer assistance*. Thousand Oaks: Sage.
- Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) (2017). *Zur Situation und zu Perspektiven für nachhaltige Entwicklung* [On the situation and perspectives for sustainable development]. Retrieved from kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2017/2017_03_17-Bericht-BNE-2017.pdf (01.01.2019).
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht – Mythen, Definitionen, Fakten [Interdisciplinary science instruction: myths, definitions, facts]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 11-19.

- Mamlok-Naaman, R., Eilks, I., Bodner, G. & Hofstein, A. (2018). *Professional Development of Chemistry Teachers*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Mahaffy, P. G. (2014). Telling time: Chemistry education in the anthropocene epoch. *Journal of Chemical Education*, 91, 463-465.
- Mahaffy, P. G., Krief, A., Hopf, H., Mehta, G. & Matlin, S. A. (2018). Reorienting chemistry education through systems thinking. *Nature Reviews Chemistry*, 2 (0126), 1-3.
- Matlin, S. A., Mehta, G., Hopf, H. & Krief, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, 7, 941-943.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J. & Behrens, W.W. (1972). *The limits to growth*. New York: Universe Books.
- Mönter, L.O. (2018). Building bridges with geography towards transformative education - The example "Climate ChangeS Cities". In I. Eilks, S. Markic & B. Ralle (Eds.), *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future* (pp. 141-152). Aachen: Shaker.
- Otto, K.-H. (2015). Geographie und Scientific Literacy – Der Beitrag der Geographie zur naturwissenschaftlichen (Grund-) Bildung [Geography and Scientific Literacy - The Contribution of Geography to Science (Primary) Bildung]. In K.-H. Otto (Eds.), *Geographie und naturwissenschaftliche Bildung* (pp- 1-22). Bochum: HGD-Symposium.
- Patton, M.Q. (1990). *Qualitative sampling and research methods*. Sage: London.
- Rempfler, A. & Uphues, R. (2012). System competence in geography education development of competence models, diagnosis pupils' achievement. *European Journal of Geography*, 3(1), 6-22.
- Sadler, T. D. (2011). *Socio-scientific issues in the classroom*. Dordrecht: Springer.
- Simonneaux, J. & Simonneaux, J. (2012). Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective. *Research in Science Education*, 42, 75–94.
- Sjöström, J. (2013). Towards Bildung-oriented science education. *Science & Education.*, 22, 1873-1890.
- Sjöström, J., Eilks, I. & Zuin, V. G. (2016). Towards eco-reflexive science education - a critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education*, 25, 321-341.
- Stables, A. & Scott, W. A. H. (2002). The quest for holism in education for sustainable development. *Environmental Education Research*, 8(1), 53–60.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I.; Bennett, I. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 736-747.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98.
- Stolz, M., Witteck, T., Marks, R. & Eilks, I. (2013). Reflecting socio-scientific issues for science education coming from the case of curriculum development on doping in chemistry education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 9, 361–370.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. & Eilks, I. (2013). The meaning of

‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49, 1-34.

Stübiger, F., Ludwig, P. H., Bosse, D., Gessner, E. & Lorberg, F. (2006). *Bestandsaufnahme zur Praxis fächerübergreifenden Unterrichts in der gymnasialen Oberstufe im Bundesland Hessen*. Kassel: kassel university press.

Swanborn, P.G. (1996). A common base for quality control criteria in quantitative and qualitative research. *Quality & Quantity*, 30(1), 19–35.

Tytler, R. (2012). Socio-scientific issues, sustainability and science education. *Research in Science Education*, 42, 155–163.

Uitto, A. & Saloranta, S. (2017). Subject Teachers as Educators for Sustainability: A Survey Study. *Education Sciences*, 7(8), 1-19.

United Nations (UN) (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. New York: UN.

Verloop, N., van Driel, J. & Meijer, P. (2001). Teacher knowledge and the knowledge base of teaching. *International Journal of Educational Research*, 35, 441–461.

Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22, 1857-1872.

Weichhart, P. (2003). Physische Geographie und Humangeographie – eine schwierige Beziehung: Skeptische Anmerkungen zu einer Grundfrage der Geographie und zum Münchner Projekt einer „Integrativen Umweltwissenschaft“ [Physical geography and human geography - a difficult relationship: skeptical remarks on a fundamental question of geography and the Munich project of an "Integrative Environmental Science"]. In G. Heinritz (Eds.), „*Integrative Ansätze in der Geographie – Vorbild oder Trugbild?*“ *Münchner Symposium zur Zukunft der Geographie* (pp. 17-34). 28. April 2003. Eine Dokumentation. Passau.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987). Our common future. Retrieved from www.un-documents.net/wced-ocf.htm (01.06.2019).

Zeidler, D. L. (2015). Socioscientific issues. In Gunstone, R. (Eds.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 998-1003). Berlin: Springer Science+Business Media.

Zowada, C., Gulacar, O. & Eilks, I. (2018). Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.

Zowada, C., Mönter, L. O. & Eilks, I. (2019a). Geographische Perspektiven in den Naturwissenschaften? [Geographical Perspectives in the Sciences ?]. *MNU Journal*, in print.

Zowada, C., Siol, A., Gulacar, O. & Eilks, I. (2019b). Phosphate recovery as a topic for practical and interdisciplinary chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, advanced article.

Zowada, C., Frerichs, N., Zuin, V. & Eilks, I. (under review c). Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research.

Anhang III: Fallstudie Fracking

Die hier aufgeführten Publikationen zeigen, wie das Thema Fracking in den Unterricht eingeführt werden können.

Zowada, C. & Eilks, I. (2018). Fracking: ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht multimedial umgesetzt. *MNU-Journal*, 4, 246-252.

Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2018). Incorporating a Web-Based Hydraulic Fracturing Module in General Chemistry As a Socio-Scientific Issue That Engages Students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.

Die Lernumgebung zum Thema Fracking (deutsch) wurde durch mich in Zusammenarbeit mit Ingo Eilks in einem Aktionsforschungsprozess mit einer Lehrer*Innengruppe verfasst. Das Material zu der Lernumgebung wurde von mir erstellt und gemeinsam mit Ingo Eilks bearbeitet. Das Evaluationsinstrument wurde durch mich erstellt und gemeinsam mit Ingo Eilks bearbeitet. Die Erprobung, Datenerhebung und -auswertung wurde durch mich durchgeführt. Das Manuskript des Artikels wurde durch mich während der Promotionszeit erstellt und dann gemeinsam mit Ingo Eilks überarbeitet.

Daraufhin wurde die Lernumgebung durch mich in das Englische übersetzt und dann gemeinsam mit Ozcan Gulacar überarbeitet. Die sprachliche Endfassung wurde dann durch Ozcan Gulacar geprüft. Das Evaluationsinstrument wurde gemeinsam mit Ozcan Gulacar und Ingo Eilks erstellt. Die Erprobung wurde durch Ozcan Gulacar nach einem gemeinsam besprochenen Ablauf durchgeführt. Die Daten wurden durch mich ausgewertet und ein Manuskript erstellt, welches dann gemeinsam mit Ozcan Gulacar und Ingo Eilks finalisiert wurde.

Schulpraxis

Fracking



Ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht
multimedial umgesetzt

CHRISTIAN ZOWADA – INGO EILKS

Fracking ist ein Thema, welches in der Medienlandschaft immer wieder vertreten ist, aber wenig Einzug in den Chemieunterricht gefunden hat. Eine Bewertung dieses Themas obliegt nicht nur einer naturwissenschaftlichen, sondern ebenso einer gesellschaftlichen Perspektive. Diese »Rundumperspektive« wird mit dem vorgestellten Unterrichtskonzept versucht umzusetzen.

1 Einleitung

In diesem Beitrag wird eine multimediale Lernumgebung vorgestellt, mit der das Thema Fracking im fächerübergreifenden Che-

mieunterricht mit Bezügen zur Geographie und Politik erschlossen werden kann. Ziel ist es, dass Schüler/innen sich das Thema eigenständig erarbeiten und dabei neben Fachwissen auch Kommunikations- und Bewertungskompetenz geschult werden.

2 Fracking – eine saubere Sache?

Hydraulic Fracturing, oder kurz Fracking, ist ein technisches Verfahren, das meist zur Förderung von Erdgas und Erdöl genutzt wird, welches in Gestein eingeschlossen ist. Fracking wird bereits seit 1947 genutzt. Im Zuge der erhöhten Nachfrage nach Energieträgern und folglich einer Preissteigerung sowie einer Erhöhung der technischen Effizienz vor einigen Jahren wird dieses Verfahren inzwischen vor allem in den USA in großem Maßstab angewendet (HABRICH-BÖCKER, KIRCHNER & WEIßENBERG, 2014). In Deutschland geht es, laut Exxon Mobil (Exxon Mobil, 2016), um ein Gesamterdgasvolumen allein im Schiefergestein von 6,7 bis 22,7 Billionen m³ Erdgas. Laut BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2012) liegt der Gewinnfaktor beim heutigen Stand der Technik bei ca. 10 % – also geht es in Deutschland um ein mögliches Potenzial von etwa 2,3 Billionen m³ Erdgas aus Schiefergas (Zum Vergleich: Der Gesamtverbrauch an Erdgas in Deutschland liegt aktuell bei etwa 70 bis 80 Mrd. m³ pro Jahr). Allerdings besteht zum Fracking in Deutschland derzeit ein Moratorium. Im Sommer 2016 wurde im Bundestag mit 435 Befürwortern und 109 Gegenstimmen (9 Enthaltungen) entschieden, dass Fracking verboten bleibt. Im Jahr 2021 soll das Verbot noch einmal überprüft werden. Bis dahin sind maximal vier Probebohrungen zu Forschungszwecken erlaubt.

Das Fracking (Abb. 1) beruht auf dem Erzeugen von Rissen in unkonventionellen Lagerstätten für Erdgas und Erdöl, also solchen Lagerstätten, in denen Erdgas und Erdöl im Gestein in verhältnismäßig kleinen Mengen eingeschlossen sind. Die Risse werden durch das Hineinpressen der so genannten Frack-Flüssigkeiten (Frack-Fluide) erzeugt; diese bestehen hauptsächlich aus Wasser (95 bis 99,5 %). Das Wasser dient vor allem dazu, Stützmaterial in die entstehenden Risse zu tragen, um diese offen zu halten. Neben dem Wasser und den Stützmitteln kommen weitere Additive zum Einsatz, deren Anteil bei etwa 1 % liegt. Für jeden Einsatz wird ein spezifisches Frack-Fluid zusammengestellt. Die Additive dienen etwa der Einstellung der Viskosität oder der Hemmung des Bakterienwachstums und sind zum Teil als umweltgefährdend oder giftig eingestuft. Die Zusammensetzung der in Deutschland verwendeten Frack-Fluide sind im Internet dokumentiert (Exxon Mobil, 2016).

Jüngst hat KOSINOWSKI (2016) ausführlich die fachlichen und technischen Aspekte des Frackings aus geowissenschaftlicher Perspektive diskutiert. KOSINOWSKI (2016) verweist auf das Einhalten von strengen Sicherheitsstandards beim Fracking. Insgesamt kommt er zu dem Ergebnis, dass Fracking aus geologischer Perspektive als sicher gelten kann. Die Einschätzung, dass Fracking als sicher gilt, wird in der

Öffentlichkeit aber nicht uneingeschränkt geteilt. Kritiker sprechen verschiedene, noch ungelöste Probleme des Frackings an, etwa die Entsorgung des *Flowback*. Dies ist die Flüssigkeit, die wieder an die Erdoberfläche tritt. Der *Flowback* kann geogene Stoffe enthalten, zum Beispiel verschiedene Metallsalze, radioaktive Stoffe (wie Radium) oder organische Stoffe (wie Benzol) (FRIMMEL, EWERS, SCHMITT-JANSEN, GORDALLA & ALTENBURGER, 2012). Eine Befürchtung sind auch Grundwasserverunreinigungen, die entstehen können, wenn die Frack-Flüssigkeit oder Teile des *Flowback* bei unsachgerechter Förderung oder bei Unfällen mit dem Grundwasser in Kontakt kommen und dieses kontaminieren (HABRICH-BÖCKER et al., 2014). Letztlich wird auch immer wieder diskutiert, wie weit Fracking zu Erschütterungen oder Senkungen im Boden und Erdbeben führen kann (Spiegel.de, 2016).

Fracking ist als weitere Quelle für fossile Energieträger auch eine Frage der Klimapolitik. Auch dies wird in der Öffentlichkeit diskutiert. Laut Exxon Mobil (2016) ist zwar Erdgas klimafreundlicher als Erdöl und Kohle, ob dies für Fracking-Gas gleichfalls gilt, ist umstritten. Eine Studie für die Europäische Kommission (FORSTER & PERKS, 2012) kommt zu dem Schluss, dass Schiefergas, als ein spezieller Vertreter des unkonventionellen Erdgases, zwar klimaschädlicher als konventionelles Erdgas ist, aber weniger als Kohle zum Treibhauseffekt beiträgt. Andere Studien stufen Schiefergas allerdings schädlicher als Kohle ein (SIMON, AITKEN, FLUES & MÜMLER, 2013). Die BUND-Studie: »*Resourcenschwindel Schiefergas*« weist darauf hin, dass Schiefergas nicht den Übergang zu erneuerbaren Energien verlangsamen sollte. Auch strittig ist das Gesamtpotenzial des Frackings. SIMON et al. (2013) bezeichnen die Annahme, dass unkonventionelles Erdgas günstig und im Überfluss vorhanden sei, als »Mythos«; dabei verweisen sie auf die häufige Verringerung in den prognostizierten Reserven an Schiefergas in den USA durch die US *Energy Information Administration* (Teil des US Depart-

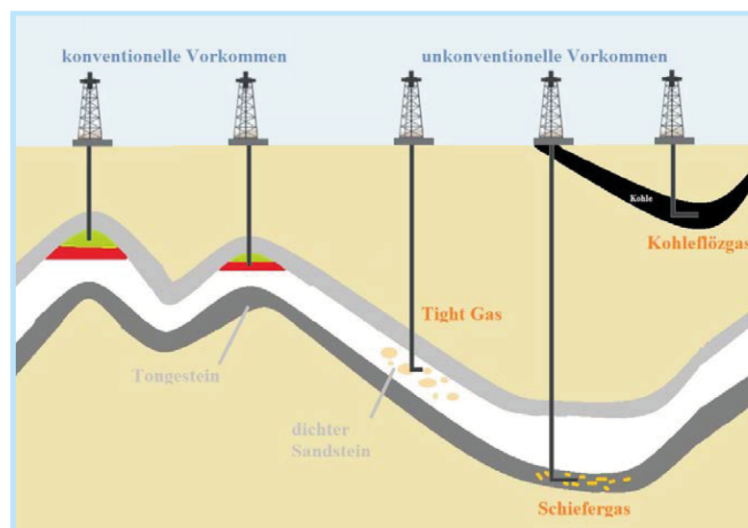


Abb. 1. Schematische Unterscheidung konventioneller und unkonventioneller Vorkommen (eigene Darstellung nach BGR, 2012) *Tight Gas* bezeichnet Erdgas, welches in dichten Sandsteinen und Carbonaten vorkommt (KOSINOWSKI, 2016).

ments of Energy). Aus Sicht des Klimawandels stellt sich generell die Frage, ob die Förderung fossiler Rohstoffe überhaupt weiter ausgebaut werden sollte.

Fracking hat auch eine globale, geopolitische Dimension. Für uns mag es nicht direkt relevant sein, ob Fracking in den USA zu einer Verschmutzung des Grundwassers oder dem Entstehen von Erdbeben beitragen könnte. Relevant für uns ist aber in jedem Fall, dass Erdgas – egal auf welche Weise es gewonnen wird – bei Nutzung als Energieträger zum anthropogenen Treibhauseffekt beiträgt. Diesbezüglich gewinnt diese Thematik gerade aktuell wieder an Brisanz. Während BARACK OBAMA in den USA verhältnismäßig viel in erneuerbare Energien investieren ließ, gilt DONALD TRUMP als Klimaskeptiker, der den anthropogenen Klimawandel anzweifelt. Er möchte verstärkt auf Fracking und auf Kohle setzen.

Letztlich ist Fracking auch ein Thema der Medien. Unter dem Titel »Gasland« ist 2010 ein Film des Filmemachers JOSH FOX erschienen, welcher eine Oscar-Nominierung als bester Dokumentarfilm erhielt. Eines der bekanntesten Bilder aus dem Film ist ein Wasserhahn, aus dem scheinbar »brennendes« Wasser kommt. Inzwischen wurde festgestellt, dass das Erdgas im Wasser auf natürliche Weise in dieses gelangt ist. Die Kritik an dem Film führte soweit, dass »Gasland« von Sendern wie ARD und ZDF nicht mehr gezeigt wird. Bei dieser Kritik geht es um teilweise falsche Informationen, die gezeigt wurden, etwa den Zusammenhang des brennenden Wasserhahns zum Fracking, welcher nicht bestätigt werden konnte. Sogar einen Gegenfilm gibt es, den verschiedene Konzerne produziert haben. Dieser heißt »Truthland« (Exxon Mobil, 2016). Hinweise zu den Filmen finden sich etwa auf www.gaslandthemovie.com und www.truthlandmovie.com. Beide Filme kann man über das Internet beziehen.

3 Eine PREZI-Lernumgebung zum Fracking

PREZI ist eine Software zur dynamischen und vernetzten Präsentation von Inhalten. KRAUSE und EILKS (2014) haben zu verschiedenen Beispielen gezeigt, wie man mit PREZI auf relativ einfachem Weg stark interaktive und modern aussehende Lernumgebungen gestalten kann. Dabei können Inhalte auf einer Oberfläche frei angeordnet werden und zwischen denen die Lernenden navigieren und somit gezielt Aspekte auswählen und ansteuern können. Durch die Möglichkeit, in allen Bereichen in tiefere Ebenen immer weiter einzudringen, können Inhalte mit verschiedener Tiefe und Ausführlichkeit angeboten und von den Lernenden genutzt werden. Die Nutzung entspricht üblichen Erfahrungen der Lernenden mit Handys oder Tablet-Computern und ist für sie sehr intuitiv.

Der Einstieg in die PREZI-Lernumgebung zum Fracking erfolgt über mehrere Zei-

tungsüberschriften, die verdeutlichen, dass sehr unterschiedliche – aber überwiegend kritische – Bewertungen des Frackings in der öffentlichen Debatte bestehen (Abb. 2).

Ausgehend hiervon gelangt man in eine Übersicht, die die Bereiche der Lernumgebung repräsentiert (Abb. 3): (1) Anleitung und Bildverweise, (2) Allgemeines zum Fracking, (3) geologische Grundlagen und Technik, (4) verwendete Chemikalien, (5) Diskussion in den Medien und (6) mögliche Auswirkungen auf die Umwelt.

Nachdem die Schüler/innen einen allgemeinen Überblick erhalten haben, können sie ausgehend von der Übersicht je nach Interesse oder Aufgabenstellung der Lehrkraft die verschiedenen Bereiche ansteuern, etwa den Bereich zu den geologischen Grundlagen und der Technik (Abb. 4).

In Abb. 4 erkennt man, dass die vier vertiefenden Teilthemen (Abb. 3, Bereiche 3 bis 6) jeweils eine Einführungs- und Zusammenfassungsseite sowie vier Seiten mit weiterführenden Informationen enthalten. Jede dieser vier Seiten enthält am unteren Rand Verlinkungen zu weiterführenden und vertiefenden Informationen. So können sich die Lernenden in die verschiedenen Teilbereiche »hineinzoomen« (Abb. 5) oder das Thema nur an der Oberfläche durchlaufen. Der Bereich der Umweltauswirkungen (Abb. 2, Bereich 6) weist hierbei eine Besonderheit auf, indem bei einem Thema auf der linken Seite Argumente gegen einen Einfluss auf die Umwelt gegeben werden und rechts dafür (grün bzw. rot in Abbildung 6).

4 Einsatz im Unterricht und erste Erfahrungen

Die Idee zur Umsetzung des Themas Fracking ist angelehnt an das Konzept des gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterrichts (EILKS, MARKS & STUCKEY, 2016). In diesem Ansatz

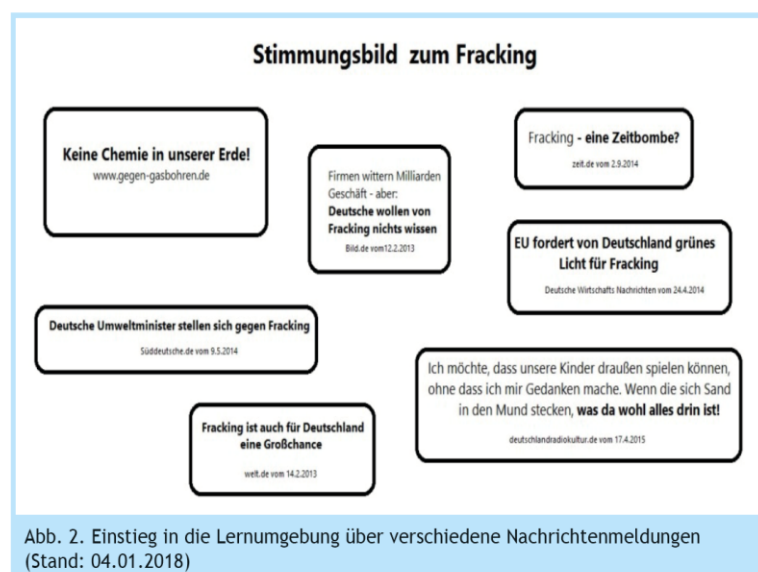


Abb. 2. Einstieg in die Lernumgebung über verschiedene Nachrichtenmeldungen (Stand: 04.01.2018)

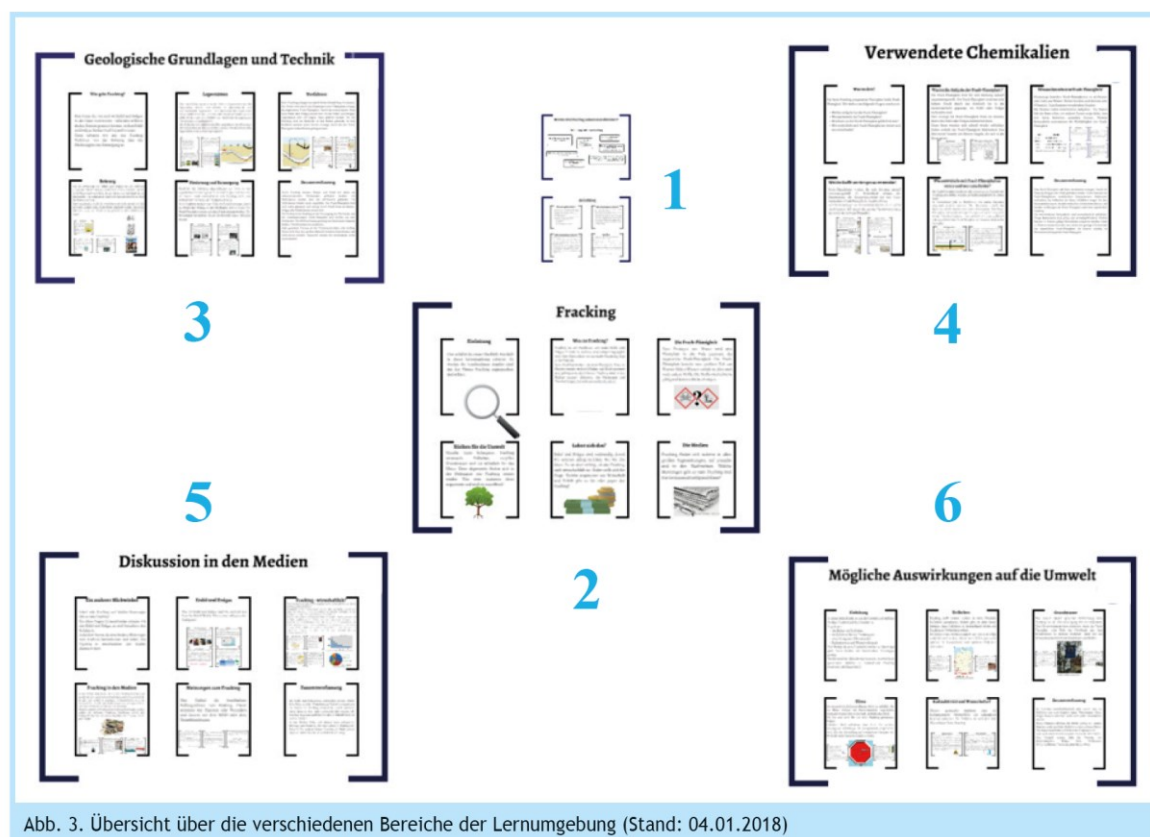


Abb. 3. Übersicht über die verschiedenen Bereiche der Lernumgebung (Stand: 04.01.2018)

werden gesellschaftlich relevante Themen im Chemieunterricht behandelt, die authentisch, relevant, ergebnisoffen und diskutierbar sind. Fracking ist ein solches Thema. Eine Debatte über Fracking findet in authentischen Medien statt; Entschei-

dungen über das Fracking werden wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen haben, egal wo und von wem es auf der Welt betrieben wird. Auch gibt es verschiedene Meinungen zum Fracking, die in der öffentlichen Debatte mit Bezug zu natur-

wissenschaftlich-technischen Argumenten geäußert werden. Der gesellschaftskritisch-problemorientierte Ansatz stellt dabei bewusst die verschiedenen in der Gesellschaft vorhandenen Meinungen und Argumente gegenüber und betrachtet sie aus verschiedenen Perspektiven (hier der Chemie, Geologie, Politik und Mediendarstellung), ohne selber eine Wertung vorzunehmen. Diese kann ein solches Unterrichtskonzept auch nicht treffen, wenn es nicht indoktrinieren will und weil es keine eindeutige Wertung zum Thema geben kann. Hier stehen verschiedene Argumente und Sichtweisen gegeneinander – dies zeigt sich deutlich in der regelmäßigen Anwendung in den USA und dem faktischen Verbot in Deutschland.

Der gesellschaftskritisch-problemorientierte Chemieunterricht sieht vor, mit authentischen Mediendarstellungen zu

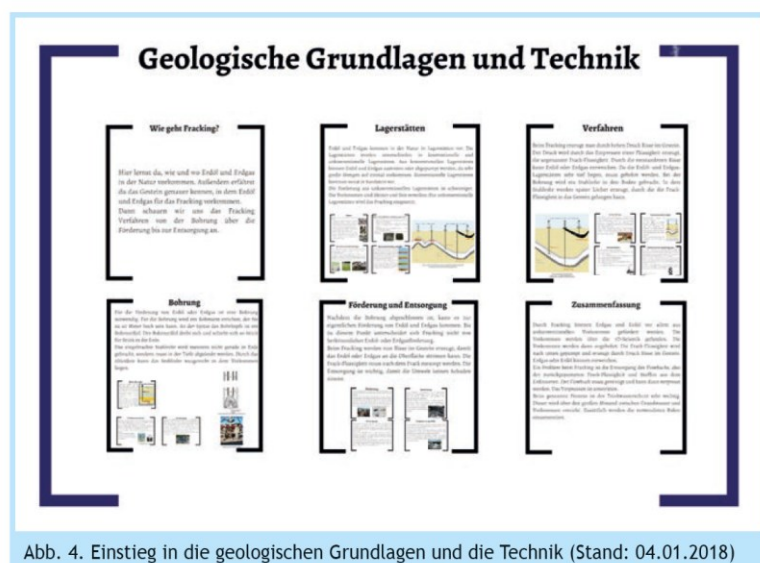


Abb. 4. Einstieg in die geologischen Grundlagen und die Technik (Stand: 04.01.2018)



Abb. 5. Hineinzoomen in ein Teilthema, hier zunächst in die Lagerstätten, dann eine Ebene tiefer in das Auffinden solcher Lagerstätten (Stand: 04.01.2018)

arbeiten (EILKS et al., 2016). So ist auch hier der Einstieg über Zitate aus authentischen Medien gestaltet, und solche Medien spielen auch beim Lernen mit der Lernumgebung durchgängig eine Rolle. Vorgesehen ist nach dem Einstieg eine Phase der fachlichen Klärung, die hier in den Bereichen zu den geologischen und technischen Grundlagen sowie dem Bereich zu den verwendeten Chemikalien umgesetzt ist. Leider sind für das Fracking bislang keine Experimente verfügbar, und diese sind für die Bedingungen des schulischen Experimentierens auch

nur schwer vorstellbar. Das Thema Fracking bietet den Schüler/innen aber die Möglichkeit, aktiv zu diskutieren und dabei die verschiedenen Perspektiven auf das Thema zu betrachten. Hierbei sind die fächerübergreifenden Bezüge zu Geographie und Politik besonders hervorzuheben sowie das fächerübergreifende Denken, welches generell für diese Art von Unterricht charakteristisch ist (MARKS, STUCKEY & EILKS, 2014).

In der Breite der dargelegten Inhalte und Argumente kann ein solches Lernen über Fracking damit auch zu einer Bildung für nachhaltige Entwicklung beitragen, ein Thema, dem sich auch der Chemieunterricht mehr zuwenden sollte (BURMEISTER, JOKMIN & EILKS, 2011).

Die Lernumgebung konnte bereits in verschiedenen Projekten erfolgreich in den Schulalltag integriert werden. Thematisch lässt es sich im Zusammenhang der Chemie von Erdöl und Erdgas einbinden. Realisierungsmöglichkeiten bieten der PC-Raum, Laptops oder Tablet-PCs, wobei die Lernumgebung online und offline genutzt werden kann. Für den Einsatz im Unterricht empfiehlt es sich, konkrete Arbeitsaufträge zu verteilen. Diese können sich an der Lernumgebung orientieren. Sie können aber auch darin bestehen, dass Rollen für ein Rollenspiel (z. B. Politiker, Wissenschaftler, Umweltaktivist und Industrievertreter) verteilt werden und sich die Lernenden in einer Doppelstunde für das anstehende Rollenspiel möglichst gut mit den relevanten Inhalten und den für ihre Rolle wichtigsten Argumenten vertraut machen. Dies kann auch in einem leicht veränderten Gruppenpuzzle umgesetzt werden, indem verschiedene Rollen vorbereitet werden und es in der Unterrichtsrunde dann zu einer spannenden Gruppendiskussion kommt.

Schülerinnen und Schüler am Ende der Sekundarstufe I benötigen nach unserer Erfahrung ca. 60 Minuten, um mit der PREZI in einem solchen Unterrichtsszenario zu arbeiten. Zusammen mit der Einführung, Verteilung der Rollen und Sicherung des



Abb. 6. »Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt«, Erdbeben (grün: Argumente pro Fracking; rot: Argumente contra Fracking) (Stand: 04.01.2018)

Gelernten ergibt sich eine Doppelstunde. Zusammen mit einer Unterrichtsstunde für das Rollenspiel oder Gruppenpuzzle und einer anschließenden Reflektion lässt sich das Thema Fracking in drei Unterrichtsstunden behandeln.

Die hier vorgestellte Lernumgebung wurde bislang an verschiedenen Schulen in Bremen und Dortmund erprobt und mittels eines Fragebogens evaluiert. Dabei zeigte sich, dass die Schüler/innen das Thema Fracking als interessant empfanden und sie das Gefühl äußerten, dass sie dieser Unterricht nachdenklich über das Fracking gemacht hat. Sie gaben zudem an, dass sie in Zukunft Nachrichtenbeiträge über Fracking mit größerem Interesse verfolgen würden und verstanden hätten, worum es bei der Debatte über das Fracking geht. Aussagen wie »Ich habe gelernt, was Fracking ist, ebenso die Pro- und Kontraargumente kennengelernt ...« belegen dies. Einige Schüler/innen geben an, dass es wohl nie eine »richtige« Lösung dieser Kontroverse gibt, wie folgendes Zitat verdeutlicht: »... dass es eine kontroverse Debatte ist, deren Entscheidung wahrscheinlich nie zu 100 % von jedem akzeptiert ist«. Vielen Schüler/innen gefiel der Unterricht, da er sich weniger mit klassisch chemischen Inhalten beschäftigte. Dies kann als Chance verstanden werden, Schüler/innen für das Schulfach Chemie zu begeistern, die wenig Interesse an den klassischen Fachinhalten der Chemie haben. Nach Meinung der Schüler/innen ist Fracking ein Thema, welches im Unterricht verankert werden sollte, da es aus ihrer Perspektive eine hohe Relevanz aufweist. Ausgewählte Aspekte der Rückmeldung sind in Abb. 7 dargestellt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Fracking ist eine umstrittene Methode zur Gewinnung fossiler Rohstoffe. Die Technik des Frackings gilt als sicher, dennoch sind gewisse Risiken auch nicht zu leugnen. Durch die authentische Debatte und die unterschiedlichen Entscheidungen rund um das Fracking bietet sich ein Thema, das zu intensiven Diskussionen über Naturwissenschaft und Technik, aber auch den gesellschaftlichen Umgang hiermit herausfordert. Dass dies gelingen kann, zeigen die hier vorgestellte Lernumgebung und deren Erprobung.

Fracking ist zudem ein Thema, das sich hervorragend für eine Öffnung des Chemieunterrichts hin zu Geographie, Politik, aber auch zu Nachhaltigkeits- und kritischer Medienbildung eignet. Die fächerverbindenden Aspekte kontextualisieren das Lernen der Fachinhalte, eine gesellschaftskritisch-problemorientierte Herangehensweise kann darüber hinaus zur Förderung von Kommunikations- und Bewertungskompetenz beitragen. Aktuell wurde die Lernumgebung in Kooperation mit der University of California in Davis ins Englische übersetzt. Dies erlaubt für Deutschland dann auch einen

bilingualen Chemieunterricht. Interessanter für uns ist aber die Frage, wie amerikanische Lernende sich zum Thema Fracking stellen, sind doch Entscheidungen in den USA in einer anderen Weise getroffen worden und spielt diese Technologie in den USA doch eine ganz andere Rolle. Einblicke in die Umsetzung in den USA sind in ZOWADA, GULACAR & EILKS (2018) beschrieben. Die Lernumgebung steht zur Nutzung und zum Download bereit unter www.digitale-medien.schule.

Wir danken der Firma Exxon Mobil und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für die Überlassung von Bildmaterial für die Lernumgebung.

Literatur

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2012). *Schieferöl und Schiefergas in Deutschland – Potenzielle und Umweltaspekte*, Hannover. www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Downloads/Abschlussbericht_13MB_Schieferoelgaspotenzial_Deutschland_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (6.3.2016).

BURMEISTER, M., JOKMIN, S. & EILKS, I. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistry im Chemieunterricht, *CHEMKON*, 18, 123–128.

EILKS, I., MARKS, R. & STUCKEY, M. (2016). Das gesellschaftskritisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren – Erläutert an einem Unterrichtsbeispiel zu Tätowierungen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65(4), 33–37.

FORSTER, D. & PERKS, J. (2012). *Climate impact of potential shale gas production in the EU*. ec.europa.eu/clima/policies/eccp/docs/120815_final_report_en.pdf (2.4.2016).

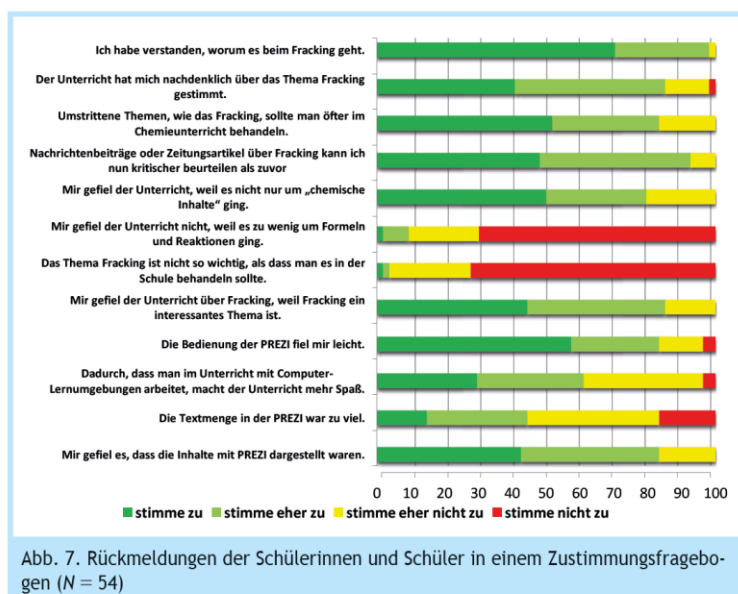


Abb. 7. Rückmeldungen der Schülerinnen und Schüler in einem Zustimmungsfragebogen (N = 54)

Schulpraxis

Exxon Mobil (2016), *Erdgassuche in Deutschland*, erdgassuche-in-deutschland.de/ (4.3.2016).

FRIMMEL, F. H., EWERS, U., SCHMITT-JANSEN, M., GORDALLA, B. & ALTENBURGER, R. (2012). Toxikologische Bewertung von Fracking-Fluiden. *Wasser und Abfall*, 6, S. 22–29.

HABRICH-BÖCKER, C., KIRCHNER, B. C. & WEIßENBERG, P. (2014). *Fracking – Die neue Produktionsgeografie*, Springer Gabler: Wiesbaden.

KOSINOWSKI, M. (2016). Erdgas-Fracking-eine umstrittene Methode. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule*, 65 (3), S. 20–24.

KRAUSE, M. & EILKS, I. (2014). Innovating chemistry learning with PREZI, *Chemistry in Action*, 104 (Winter), 19–25.

MARKS, R., STUCKEY, M. & EILKS, I. (2014). Die gesellschaftliche Dimension naturwissenschaftlich-technischer Sachfragen – Die Perspektive der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer. *GW-Unterricht*, 134, S. 19–28.

SIMON, A., AITKEN, G., FLUES, F. & MÜMLER, H. (2013). *Ressourcenschwandel Schiefergas*, Heinrich-Böll-Stiftung, Schriften zur Ökologie, Band 34: Reinheim.

Spiegel.de (2016). *Öl- und Gasförderung lösen immer mehr Erdbeben aus* www.spiegel.de/wissenschaft/natur/erdbeben-in-den-usa-durch-abwasser-beim-fracking-a-1084480.html (3.1.2017).

ZOWADA, C., GULACAR, O. & EILKS, I. (2018). Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students. *Journal of Chemical Education* advance article.

CHRISTIAN ZOWADA, Universität Bremen, FB 2 – IDN, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, christian.zowada@uni-bremen.de, ist wiss. Mitarbeiter in der Abteilung Chemiedidaktik der Universität Bremen.

Prof. Dr. INGO EILKS, Universität Bremen, FB 2 – IDN, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, ingo.eilks@uni-bremen.de, ist Professor für Chemiedidaktik an der Universität Bremen. ■

Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students?

Christian Zowada, Ozcan Gulacar und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist keine Parallelpublikation erlaubt. Daher ist sie unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Anhang IV: Fallstudie Pestizide

Die hier aufgeführten Publikationen zeigen, wie das Thema Pestizide in den Unterricht eingeführt werden können und wie Mechanismen der Bewertung zum Thema Green Chemistry genutzt werden können.

Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N.; Eilks, I. (2019). Nachhaltige Chemie und Nachhaltigkeitsbewertung im Chemieunterricht entlang von Glyphosat und grünen Pestiziden. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 172, 38-43.

Zowada, C.; Gomes Zuin, V.; Belova, N. & Eilks, I. Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research. *Chemistry Education Research and Practice*, wieder eingereicht nach minor revisions.

Folgende Ausführungen sind für beide Publikationen identisch. Das Material wurde federführend von mir in einem Aktionsforschungsprozess gemeinsam mit Nadja Frerichs, Ingo Eilks und einer Lehrer*Innengruppe in Dortmund entwickelt. Die Videosequenzen wurden nach meinen Vorgaben von Vânia G. Zuin erstellt und von mir neu zusammengestellt und mit Untertiteln versehen. Das Video von Nadja Frerichs wurde von mir bearbeitet und letztlich als Gesamtpaket auf der Homepage der Arbeitsgruppe bereitgestellt. Das Evaluationsinstrument wurde von mir erstellt und in Zusammenarbeit mit Ingo Eilks und Nadja Frerichs überarbeitet. Ich habe das Instrument pilotiert und weite Teile der Erprobungen durchgeführt. Einige Erprobungen wurden durch Nadja Frerichs sowie Michael Linkwitz durchgeführt. Die Daten wurden von mir ausgewertet und ebenso das Inter-Coder Maß durch mich berechnet. Beide Artikel wurden in ihrer Rohfassung durch mich erstellt und gemeinsam mit den angegebenen Autor*Innen weiter überarbeitet.

Zowada, C.; Linkwitz, M.; Siol, A. & Eilks, I. Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht. *Chemie konkret*, eingereicht.

Der Artikel basiert partiell auf dem oben gegeben Unterrichtsvorschlag. Hier wurde durch mich ein erstes Manuskript erstellt, welches dann weiter durch Michael Linkwitz bearbeitet wurde, bevor es von allen Autor*Innen gemeinschaftlich bearbeitet wurde.

Glyphosat oder grüne Pestide?

Christian Zowada, Vania Gomes Zuin, Nadja Belova und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist nicht bekannt, ob eine Parallelpublikation erlaubt ist. Daher ist sie unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research

Christian Zowada ^{*1}, Nadja Frerichs ^{1**}, Vânia Gomes Zuin ^{***2} and Ingo Eilks ^{****1}

¹Department of Biology and Chemistry, Institute for Science Education, University of Bremen, 28334 Bremen, Germany

²Department of Chemistry, Federal University of São Carlos, Campus São Carlos, Rodovia Washington Luís, km 235, 13565-905, SP, Brazil

* christian.zowada@uni-bremen.de

** n.frerichs@uni-bremen.de

*** vaniaz@ufscar.br

**** ingo.eilks@uni-bremen.de

Abstract

The debate on the use of pesticides is very current in the public media when it comes to topics such as organic farming, bee mortality, and the use of glyphosate. The broad range of pesticide applications and their potential environmental impact makes pesticides an interesting topic for science education in general and for chemistry teaching in particular. This is particularly true when conventional pesticide use is contrasted with current chemistry research efforts to develop alternatives based on the ideas of green chemistry. This paper discusses the potential relevance of pesticides for chemistry education in connection to education for sustainable development. It gives a brief outlook on pesticides in science teaching and connects the topic to socio-scientific issue-based chemistry education. A case study which developed a lesson plan for secondary school students is presented here. It defines pesticides, before focusing on the development of green pesticides as potential alternatives to current products. The lesson is focusing learning *about* chemistry rather than learning *of* chemistry in the means that the lesson introduces quite young chemistry learners (age range 15-17) to ideas of green and sustainable chemistry and how green alternatives in chemistry can be assessed and compared to traditional alternatives. Video vignettes of a scientist are used to introduce the topic to students. Finally, both glyphosate as a conventional, industrial pesticide and orange oil as an example of a green pesticide are compared using spider chart diagrams. The lesson plan was cyclically designed by a group of ten chemistry teachers using participatory action research. It was piloted with the help of secondary school chemistry student teachers and then tested in five German secondary school classes (grades 10/11). The use of the spider charts was regarded as especially helpful by the learners, most of whom felt that they had been able to understand the controversy ranging around pesticides.

Keywords

Secondary/undergraduate chemistry education, Curriculum development, Action research, Education for sustainable development, Green and sustainable chemistry, Pesticides

1 Introduction

In 2015, the United Nations introduced Agenda 2030 as an action plan promoting a sustainable future for the world. A number of 193 countries worldwide agreed on a definition of sustainability containing three balanced dimensions: environmental, societal and economic

sustainability. These countries reached agreement on 17 sustainable development goals (SDGs). Out of these 17 SDGs ten were recently tied to chemistry by the Global Chemicals Outlook II published by the United Nations Environmental Program (UNEP) (UNEP, 2019). In 2015, Steffen *et al.* (2015) also published an updated version of their planetary boundary framework, which reflects upon (potential) human impact on the earth. One planetary boundary, which has not been quantified so far, is that of novel entities. Synthetic pesticides are novel entities which have been released into the environment by mankind for several decades now. Chemistry plays an important role in staying within planetary boundaries and achieving the above-stated SDGs. It also contributes to contemplating novel routes for obtaining, synthesizing and using chemicals (Matlin *et al.*, 2015; Zuin, 2016). Despite chemistry's importance in developing a sustainable future, chemistry lessons are often perceived as unpopular and uninteresting by many learners (Osborne and Dillon, 2008). This might be related to a lack of understanding of the relevance of chemistry education's content and contexts (Osborne, 2003). An orientation towards a more societal perspective along socio-scientific issues (SSIs) has been suggested to increase the learners' perception of the relevance of chemistry education (Hofstein *et al.*, 2011).

One controversial SSI being currently discussed both in politics and in the public media is the use of pesticides, such as glyphosate. Some media excerpts claim that pesticides are responsible for both decreasing numbers of pollinating insects and an increase in the cases of certain cancers. Other contributions highlight the necessity of pesticides for food security and for stable worldwide food prices. A quite recent study showed that consumers from the USA associate high pesticide-related risks with conventionally grown foods (Williams and Hammitt, 2001). In Germany, for instance, pesticides also have a negative image. A majority of the public believes that the risk of using pesticides is higher than the resulting benefits (BfR, 2016a). Pesticides are a topic with a multitude of different shareholder viewpoints ranging all the way from the political arena to the economy, society, the agricultural sector, and science. For this reason any „right“ decision based on cost-benefit analysis is extremely difficult to make (Hastik *et al.*, 2013). However, such decisions still need to be made, hopefully to the benefit of society. In this article we first discuss selected aspects of the use of conventional pesticides, potential alternatives and the implementation of this topic in science (chemistry) education. We outline links to sustainability education and SSI-based teaching to justify why pesticides are a suitable topic for chemistry education. We then describe an evidence-based curriculum design project focusing a lesson plan for secondary or undergraduate chemistry education on glyphosate (conventional pesticide) and orange oil (green pesticide). Finally, we discuss first results from the accompanying evaluation and outline conclusions for future research and implementation.

2 Background

According to the United States Environmental Protection Agency (EPA, 2019) *“a pesticide is any substance or mixture of substances intended for preventing, destroying, repelling or mitigating any pest; use as a plant regulator, defoliant, or desiccant; use as a nitrogen stabilizer.”* The European Union suggests that pesticides can be divided into plant protection and biocidal products (2009, 309/71) (EFSA, 2019): *“...this Directive should apply to pesticides which are plant protection products. However, it is anticipated that the scope [...] will be extended to cover biocidal products.”*

Pesticides are plant protection products which can be divided according to the target organisms. They mainly include insecticides against insect pests, herbicides against unwanted plants (weeds), and fungicides against harmful fungi. A recent example is glyphosate with its massive media presence due to the extension of the approval by the EU in 2017 and ongoing

trials in the USA. In contrast, alternatives such as green pesticides are hardly mentioned by the media.

Pesticides are designed to prevent, destroy, repel or mitigate pests. They act in a variety of ways, primarily by affecting metabolic processes (for more information see Copping and Hewitt, 1998 or Krämer and Schirmer, 2008). Modern pest control was first launched in the 1940s with invention of synthetic pesticides, like dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) which was effective and cheap in eradicating malaria-carrying mosquitoes (Unsworth, 2010). Pesticides were also part of the Green Revolution in the 1960s, which attempted to massively increase crop yields. Over time, more and more risks associated with pesticides were described and became part of the public discussion, especially after Rachel Carson's alarmist book "The Silent Spring" in 1962. Today, crop protection has a range of options. Pesticides have been modified and improved in their modes of action, as well as in their selectivity. At the same time, plants were also genetically manipulated so that they were given a natural resistance to some pesticides (Unsworth, 2010).

Conventional agriculture uses pesticides for integrated pest management. Such management focuses on different components, including pesticides, which strengthen plant growth or effect selected crop sequences. One alternative is organic agriculture, which renounces synthetic pesticides. However, according to the German Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL, 2017a), a complete change to organic agriculture in Germany's case would mean that the German population would need to largely refrain from meat consumption, abstain from fruits and vegetables which are produced using synthetic pesticides elsewhere, and willingly to accept higher food prices. Thus, banning synthetic pesticides is also a question of changing consumer behavior or requiring consumers to spend more on food.

Cooper and Dobson (2007) have suggested that the perceived risks of pesticides are much higher than the real-world risks. They also stated that the benefits of pesticide use are not sufficiently appreciated by the public. In Germany, for example, a national action plan says that plant protection methods are necessary, and pesticides are one component which should become less relevant over time (BMEL, 2017b). Glyphosate is such a pesticide – the aim is to steadily decrease its use. The debate about glyphosate use is controversial and not even experts can reach a general consensus. Supporters of glyphosate state that the discussion is not objective, while the opponents want to prohibit glyphosate due to (potential) consequences (Küchler and Zaller, 2018). Glyphosate was invented in the 1970s and was re-approved by the European Union in 2017 for five additional years. It is one of the bestselling herbicides worldwide, e.g. under the trade name Roundup®, and is very effective in destroying non-resistant plants, which means that it eradicates most unwanted weeds (BMEL, 2018). Glyphosate inhibits the production of aromatic amino acids (e.g. phenylalanine and tyrosine), due to its structural similarity to phosphoenolpyruvate. It has very low production costs and works reliably and effectively (Seitz *et al.*, 2003).

Overall, the use of glyphosate has been widely criticized in several developed countries. On the one hand, the International Agency for Research on Cancer (IARC, 2016) stated that glyphosate is probably carcinogenic to humans. On the other hand, the German Federal Institute for Risk Assessment (BfR) stated that there is no increased risk using glyphosate in terms of cancer as long as it is used properly (BfR, 2016b). Both statements seem to be contradictory, but in fact the IARC tries to estimate whether a substance might eventually promote cancer, while the BfR points out how likely this case is, if the substance is applied in accordance with the suggested dosage. Long term studies from the USA examined (among others) 45,000 glyphosate-using farmers. They found that *"no association was apparent between glyphosate and any solid tumors or lymphoid malignancies overall. There was some*

evidence of increased risk of AML among the highest exposed group that requires confirmation" (Andreotti *et al.*, 2018, 509).

Another frequently mentioned issue in the context of the use of conventional pesticides is the decline in biodiversity, especially pollinators. A connection between modern agriculture with its use of pesticides, fertilizers and monocultures and the decline in biodiversity may be reasonable (UBA, 2018). Glyphosate is considered to be comparably insect-friendly, because the mode of action does not affect insects. However, a recent study came to the conclusion that it is likely that glyphosate damages the microbiota in honey bees (Motta *et al.*, 2018). In any case, glyphosate can possibly impact the living environments and food sources of insects. Recently, Brillsauer *et al.* (2019) suggested a new cyanobacterial antimetabolite as an alternative to glyphosate, which also blocks the shikimate pathway. But, even if not every risk of glyphosate is applicable here it will also work as an herbicide in killing plants.

On the other hand, recent new regulations for the use and sale of pesticides in Brazil have been proposed, weakening current regulations and transferring their control to the Ministry of Agriculture instead of the current Ministries of Environment and Agriculture and the National Agency of Health. Brazil is already one of the main markets of pesticides and almost all of its population has been severely affected by their use (e.g., via inhalation, ingestion of contaminated water and food). Additionally, the maximum acceptable limits (MRL) for some pesticide residues in water and food in Brazil are much higher than those established by the European Union (EU), e.g., for glyphosate the Brazilian MRL in food is 10 mg/kg, considerably different to that one in the EU that is 0.05 mg/kg (Abessa *et al.*, 2019).

An alternative to conventional, synthetic pesticides might be green (ecological) pesticides, which are "*derived from organic sources that are considered environmentally friendly and cause less harm to human and animal health, to habitats and to the ecosystem*" (Rathore, 2017; 4). Using essential oils such as eucalyptus, orange or clove oil has been suggested. These are obtained from diverse plant parts like leaves, roots, peels or bark. Most of these substances are volatile, odor-intensive compounds with a variety of functional groups. Many of them are monoterpenes which can be cytotoxic to plant and animal tissue. One example is the monoterpene linalool which acts as an insecticide and can be found in basil or nutmeg. Linalool influences ion transport in the nervous system and thus the release of acetylcholinesterase which is an enzyme catalyzing the breakdown of acetylcholine. Another mode of action is the smell of some essential oils, which suggests "danger" to insects (Rathore, 2017). Blocking the smell also works in some cases. A further example is orange oil, which can be obtained from leftover orange peels from orange juice production. From these peels, many chemicals such as d-limonene and pectin can be extracted. The terpene d-limonene is the main component of orange oil, which has been registered in the USA as an insecticide since 1958 and as an antibacterial agent since 1971. Orange oil is a highly effective contact insecticide for ants, cockroaches, flies or silverfish. Many products (such as Orange Guard® in the USA) are on the market for domestic use. It is not very toxic, non-persistent in the environment, a good repellent and slows down the growth of some insects. Orange oil can cause a variety of symptoms in insects such as hyperactivity, loss of orientation, or paralyzed limbs. These symptoms are similar to those caused by neurotoxic substances. Problematic for mass production is the comparatively high price and issues in handling the volatility of the orange oil. Although d-limonene is allowed as an indoor insecticide, it is suspected of inducing dermatitis (Zuin, 2016b; Ciriminna *et al.*, 2017).

3. Sustainability, chemistry education and pesticides

The connection between sustainability issues and chemistry teaching has been made for a long time by authors such as Burmeister *et al.* (2012), Juntunen and Aksela (2014) and Tytler (2012). Burmeister *et al.* (2012) named SSIs as one potential way to teach about sustainability in chemistry contexts. Even sustainability itself can be seen as an SSI (Simonneaux and Simonneaux, 2012), especially in terms of hot type SSIs, the most relevant and controversial ones which are interdisciplinary in nature and go beyond teaching conceptual knowledge (e.g. climate change) (Simonneaux, 2014). This is especially true in times where the human influence on system earth is increasing (Crutzen, 2002). This suggests that we need a new definition of sustainable development, which emphasizes the environment (Griggs *et al.*, 2013). Carrying out sustainability topics in chemistry education can be seen in the context of Model 3 as suggested by Burmeister *et al.* (2012; 64) for sustainable development education: *“Using Controversial Sustainability Questions for Socio-scientific Issues Driven Science Education”*. It has been suggested that SSIs in chemistry education should start with societal dilemmas or controversial social issues with direct links to science (Sadler, 2004). Therefore, the starting point of an SSI cannot be purely scientific content. To understand this point of view, a helpful question was asked by Sadler (2011; 1): *“What should be the goal of science education?”*. Sadler’s answer for school science education is preparing future citizens, so the primary goal cannot merely be pure science content.

Sadler’s view is supported by that of Sjöström (2013), Sjöström, Eilks and Zuin (2016), or Mahaffy (2015). Mahaffy (2015) even warns not to neglect that it is important for young learners to understand and make decisions, since the majority of students will not pursue a chemistry degree. This is especially true in times where various sustainability topics reach broad media attention and have high levels of coverage. Here Mahaffy (2015; 7) says that *“overemphasis is often placed on providing all of the foundational pieces for the few students who major in chemistry, rather than for the majority of students who will pursue careers in health professions, engineering, or other areas”*. This is even more true for secondary chemistry education as it might be for undergraduate studies. It can be concluded that an SSI approach should be interdisciplinary due to limits in chemistry and other subjects. A demand for more holistic approaches can be made (Vilches and Gil-Pérez, 2013; Zuin, 2016a). Also, Mahaffy *et al.* (2018) emphasized connections beyond disciplines in order for learners to face challenges like sustainable development. Zeidler (2015; 1001) summarizes potential positive outcomes of using SSIs in science education:

“Promoting developmental changes in reflective judgment, moving students to more informed views of the nature of science, increasing moral sensitivity and empathy, increasing conceptual understanding of scientific content, increasing students’ ability to transfer concepts and scaffold ideas, revealing and reconstructing alternative perceptions of science, facilitating moral reasoning, improving argumentation skills, promoting understanding of eco-justice and environmental awareness, engaging students’ interest in the inquiry of science”.

An important question is how suitable SSIs can be identified. Marks and Eilks (2009) and Stolz *et al.* (2013) have suggested the following criteria for fruitful SSIs in science education: authenticity, relevance, openness for evaluation with respect to a societally relevant question, inclusion of open discussions, and a basis of the topic in science (chemistry) or technology. Applying those criteria to pesticides leads to the following results:

- Authenticity: Critical discussion on pesticides use frequently occurs in public debate and the media.

-
- Relevance: Everyone has to decide whether to buy conventional or organic food products. Pesticides have only temporarily been authorized by the European Union. Keeping in mind the discussion about glyphosate in Europe and the USA we can conclude that decisions will affect learners' lives both today and in the future.
 - Open for evaluation with respect to a societal relevant question: There are various positions in the public debate ranging between the necessity of pesticides for a cheap, dependable food supply and protecting nature. In any case, any result is a tradeoff between these two poles.
 - Open discussions: There are many realistic positions on how various pesticides should be used and in which recommended amounts.
 - Connection to science and technology: Pesticides are chemicals which are invented and researched by chemists, and produced by the chemical industry.

In the past, there were some suggestions to integrate pesticides into chemistry teaching, e.g., related to analytical chemistry. Radford *et al.* (2013) analyzed pesticides by extraction from different products juice with undergraduate students, like juice. Davis *et al.* (2017) used project-based learning to find methods to quantify DDT and its degradation products in environmental samples. Other ideas focused around plant extractions to teach analytical chemistry (Hartwell, 2012). Glyphosate was also suggested for analysis in a laboratory activity using UV-Vis spectroscopy in undergraduate teaching (Felton *et al.*, 2018). In 1999, O'Hara *et al.* developed a laboratory course studying pesticides in drinking water as an introductory chemistry course to foster learner motivation and interest. In another study, students were asked (among other things) to improve detection tests for three pesticides in fruits. This led to an increase in self-efficacy beliefs when performing chemistry experiments using a problem-based learning laboratory (Mataka and Kowalske Grunert, 2015). Another study focused on instructional methods (Current and Kowalske Grunert, 2016) using the above-mentioned detection of pesticides. More recently, a new module dedicated to green chemistry focused on bio-circular economy models in pre-service teacher education courses in Brazil (Zuin, 2018). This education module aims at understanding the process for design and development in the scope of transformative science education. It highlights case studies such as the bio-rational control of insects and the search for biologically active compounds closely related to human life with an eye towards sustainable agriculture.

In New Zealand, students were taught about integrated pest management using an online-based platform. This included virtual visits to a farm where they needed to decide how to protect crops against pests during a growing season (Stewart, 2014). To increase student interest and connect chemistry more closely to real-life issues, Kegley *et al.* (1996) used a module-based laboratory curriculum for general chemistry. Students analyzed pesticide residues in fruits and vegetables, which then lead to the discussion of two contradictory roles (environmentalist and agribusiness advocate) in a debate on regulating pesticide use in connection to food supply.

A few years ago, an interdisciplinary module was suggested, which focused on the mode of action of pesticides and the ethics of their use, in order to introduce complex mechanisms and consequences to the environment from the ethical side (Ryno and Cottine, 2018). Mandler *et al.* (2012) also tried to integrate real world issues into teaching. In their module "*We are the world – The Carbon Cycle*" they embedded the use of pesticides in the context "*Our role in*

conversing our planet” by focusing on the story of methyl bromide. In order to reliably evaluate the scientific thinking skills of undergraduates, Harsh (2016) designed a set of tasks based on relevant real-world problems. One of them was the controversial pesticide atrazine, which is suspected of causing malformations in animals. Based on these tasks, an instrument measuring scientific thinking skills was later developed (Harsh *et al.*, 2017). Already in 2002, Zeidler *et al.* referred to DDT as an example of unwitting errors of science and highlighted the importance of its social implications in education.

In the International Year of Chemistry in 2011 a monthly chemistry calendar containing videos was produced in Sweden. One focus was on more environmentally friendly pesticides, as well as the huge questions of risk vs. benefit and pesticide residues in food (Christensson and Sjöström, 2014). The question of risk and benefits was also raised for several chemical substances by Cullipher *et al.* (2015). They analyzed different levels of sophistication in ideas of benefit, cost and risk reasoning, based on the topic of energy resources. Among other topics, an international survey was conducted by Asada *et al.* (1996) on bioethics. They found that topics related to bio-ethics were more frequently taught in biology classes than in chemistry or the social sciences. They also found a need for more high-quality educational materials. In 2000, Zoller used an exam to assess learners' higher-order cognitive skills, using questions containing items about the potential impacts of pesticides for farmers. A strong focus on chemical-related environmental science was claimed for education and research, e.g., by Schaeffer *et al.* (2009) and Sjöström *et al.* (2016).

Assessing the sustainability of pesticides with students is difficult due to the inherent complexity of the issue. Sustainability assessments in science are often based on many factors that are quantified in order to make statements. Several attempts have been suggested for focusing on sustainability while researching new syntheses. These are also related to teaching about green chemistry (McElroy *et al.*, 2015; Ribeiro *et al.*, 2010). Ribeiro *et al.*, (2010) introduced the “Green Star,” which is a spider chart diagram oriented around the twelve principles of green chemistry as presented by Anastas and Warner (1998). This method is, however, still complex. Its use in education might need to be restricted to advanced students in higher education, since it calculates certain statistical values and requires a broad knowledge of chemistry. A search in the literature could not identify an easy-to-handle, informative tool for students at the secondary school level to assess the sustainability of a given substance or chemical process.

Most of the examples and suggestions described here focus on undergraduate chemistry education. Teaching about pesticides is, however, not really present in science education in general and in chemistry education in particular when it comes to the secondary schooling level and it is not yet part of German chemistry curricula. The same holds true if such teaching is meant to be connected to learning about green pesticides neither from a perspective of the chemistry behind green pesticides, nor as an SSI in chemistry teaching. Since the chemistry behind green pesticides is rather complicated and this lesson plan is designed for quite young chemistry learners at the end of lower and beginning of upper secondary education with a limited background in chemistry, in the following sections we suggest integrating learning about traditional and green pesticides in an SSI framework in chemistry education. The lesson plan is focusing learning *about* chemistry rather than learning *of* chemistry. That means it introduces quite young chemistry learners (age range 15-17) to ideas of green and sustainable chemistry and how green alternatives in chemistry can be assessed and compared to traditional alternatives. The central objectives of the intervention are that students get first ideas which actions chemistry is taking to replace synthetic chemicals with green alternatives and what criteria and visualization tools can be used to gain initial measures of sustainability in the lower

and upper secondary classroom. The implementation of corresponding sustainability assessments is rare in secondary chemistry education in general, and for the German context in particular where the subject chemistry is generally taught as a self-standing subject from the early years of lower secondary education onwards. At the same time a connection to the sustainability debate should be established in order to introduce the topic for in-class discussions and debates. Although the focus of this intervention is more general and might be considered general science content in those countries teaching integrated science at the lower secondary level, this is not the case for Germany. In Germany, chemistry curricula for both the lower and upper secondary schooling levels ask for the teaching of evaluation competence and to operate education for sustainable development as integral parts of secondary chemistry education.

4 Research Design

The lesson plan was developed using the model of Participatory Action Research (PAR) as suggested by Eilks and Ralle (2002). In the PAR design research approach, science educators and experienced teachers cyclically design teaching interventions for topics where teachers see a gap in the curriculum or pedagogy. They can then arrive at evidence-based lesson plans and the associated media (Marks and Eilks, 2010). After the design phase the lesson plan is tested in different groups of students in order to elicit student feedback. This feedback aids in further iterations while developing the lesson plan. The initial design of the lesson plan, in this case, was discussed and revised in a group of teachers in three rounds over a time span of six months. The group consisted of ten experienced chemistry teachers, some of whom have worked in this PAR group for almost 20 years (Eilks, 2018). Changes were then integrated according to the teachers' input and feedback.

A first round of pretesting was carried out with a group of roughly 20 chemistry student teachers during a university chemistry teacher education seminar. The student teachers provided feedback in a group discussion format and a preliminary version of a questionnaire containing 5 open-ended questions and 15 Likert-scale items (4 step). The instrument that was piloted in this group was later used in the case study evaluation with school students. The feedback provided led to further slight improvements in the teaching and learning materials. The lesson plan was finally applied to five senior secondary school chemistry classes (last year lower and first year upper secondary level, age range 15-17). The intervention was comprised of three to four lessons of 45 minutes each. The slightly adjusted questionnaire from the pilot test with the student teachers was used. Feedback was provided by a total of 95 secondary school students from five classes in different schools. All of the students volunteered to provide anonymous feedback.

In the questionnaire, the open-ended questions related to what students perceived they had learned, the positive aspects of the learning environment, any potential changes and improvements, a reflection upon a given statement ("Agriculture without pesticides – this doesn't work!"), and feedback on the approach of working with video vignettes from a real scientist. The Likert-based items focused on various aspects of motivation and interest, the use of contexts and pedagogies, perceptions of the teaching materials, and attitudes towards the chemical industry, government policy and green alternatives. Additionally, spider chart diagrams were filled out by the students and were also collected.

Answers to the Likert questions were subjected to descriptive statistics, which is suggested appropriate for this kind of action research-based design research, where evaluation is cyclical and aims more at understanding teaching practice improvement, than at producing hard data (Bodner *et al.*, 1999). The open-ended questions were analyzed using qualitative content

analysis according to Mayring (2000). Summarizing qualitative content analysis was used, which is a cyclical, multi-step procedure for examining qualitative data. The data was first paraphrased to inductively identify common themes and categories (Mayring, 2000). Two rounds of coding with the help of two coders were applied in order to constitute a category system, which described the content of each open-ended question. The final inter-rater reliability was almost perfect with a Cohens value of $\kappa = .899$.

5 Teaching intervention

The suggested teaching approach generally follows the socio-critical, problem-oriented approach to chemistry teaching defined by Marks and Eilks (2009). In contrast to this model, however, no experiments were used. The lesson plan is designed for 135-150 minutes of lessons, starting with media excerpts highlighting the controversy surrounding pesticides. One of the authors from Brazil (V.G.Z.) introduces the learners to Brazil's agricultural system and to pesticides via a short video vignette (English with German subtitles). The Brazilian context was chosen to connect chemistry learning with an authentic field of research that is operated in Brazil where it has an enormous economic importance. Additionally, literature suggests for the case of Germany that students are more interested in regions outside Europe (Hemmer and Hemmer, 2017).

Afterward, the learners start working in groups (pro and contra pesticides) to write a fictional e-mail to the researcher in Brazil, who is evaluating pesticides. The fictional e-mails are placed on an opinion scale and are connected to the use of glyphosate. The next step is to fill out a spider chart (see Figure 1) with six categories. Spider charts are regularly suggested for visualizing certain aspects of sustainability on a soft scale (applicable – partially applicable – not applicable); e.g. Ribeiro *et al.*, 2010). The four criteria at the top of the diagram were inspired by the philosophy of green chemistry. The two criteria at the bottom are based on other important aspects of the use of a new compound, including its economic soundness, in particular its efficiency and availability. A new chemical agent needs to fulfill its purpose and be able to be produced in sufficient amounts within justified costs. The information to fill the spider chart is again provided through a video with an associated text and, in case it is necessary, oral explanations by the teacher. The video is stopped at several points in order to give the students time to make notes and fill out the spider chart. The students have to interpret texts and information to fill in the spider charts. For our target group of students this is not an easy task and needs competencies in evaluation and interpretation which are central to understand sustainability assessments.

The weaknesses visible in the spider chart diagram on glyphosate is used by the teacher to lead to the question of potential alternatives. Here, green pesticides are introduced using another video vignette from the Brazilian context. Students list pros and cons based on the video vignette. After that, the students fill in a second spider chart diagram with help of a text about orange oil (d-limonene) as an example of a green pesticide. The spider charts filled out by the students on glyphosate and orange oil are then compared.²

² Glyphosate is an herbicide, d-limonene is an insecticide. The two substances were chosen because of the (1) importance and authentic debate on glyphosate, and (2) for operating the chance to make the connection to authentic green chemistry research in the Brazilian context. It is suggested that independent from the different function of both substances' general characteristics of conventional and green pesticides can be compared.

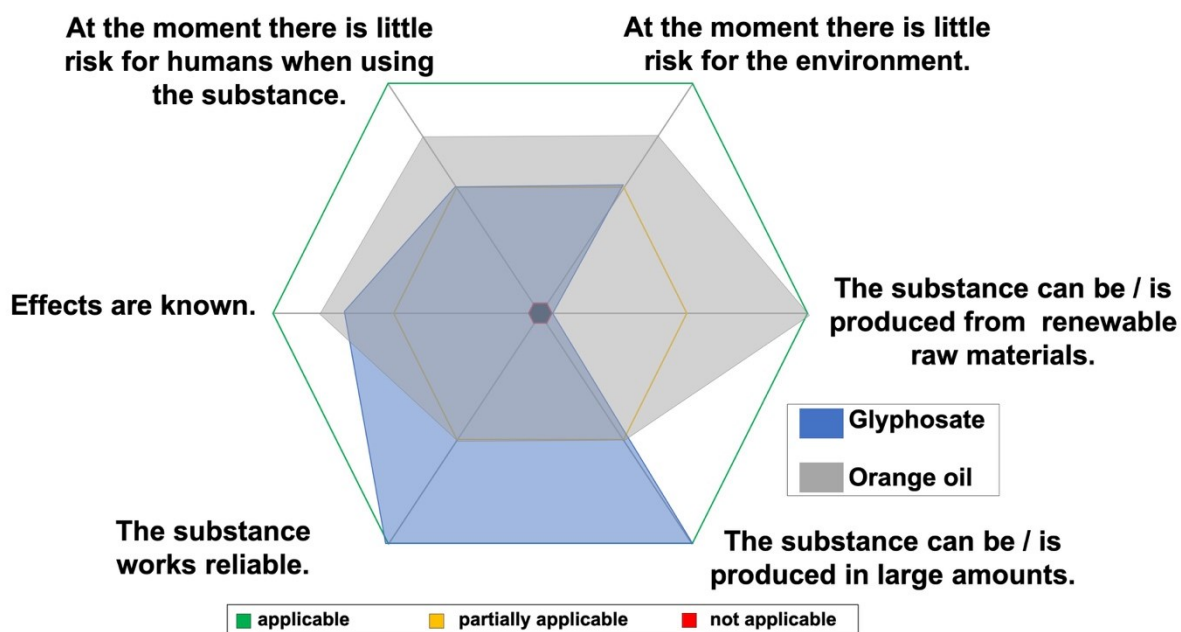


Figure 1. Simple spider chart for evaluating the use of chemicals with potential entries guessed by the authors for glyphosate and orange oil

The strengths and weaknesses of both of the pesticides were made visible by the spider chart diagrams, so that the students could easily compare the two pesticides. Some student results also contained extreme values, which were an important factor in a classroom discussion. For example, the idea that glyphosate cannot be produced in large amounts is definitely not correct – however, potential (negative) consequences for the environment might actually be the case. Such differing results are most valuable, because they can be compared to the results of other class members and discussed within the whole group in order to gain broad agreement. When discussing and comparing the spider charts, it is emphasized that any solution as shown in Figure 1 includes a certain level of uncertainty, based upon the interpretation of the information by the students. Discussion leads to the point where the whole issue becomes a topic with a high level of uncertainty. This uncertainty can then be addressed using different results from the students with regard to soft scaling. During the interpretation phase it becomes clear, for example, that glyphosate is highly efficient, can be produced in large amounts at low costs, but is not produced from renewable raw materials. In contrast, orange oil is made from a renewable resource at considerable cost, but not yet available at the large scale. Several issues in the task demanded of the students ask for an educated guess and a decision as to what level of fulfillment for a certain criterion should be considered. This spider chart purposely reveals the strong focus of environmental factors, although economic aspects are also addressed. Aspects of societal sustainability were left in this example out to limit the overall complexity. Figure 2 presents an overview of the lesson plan.

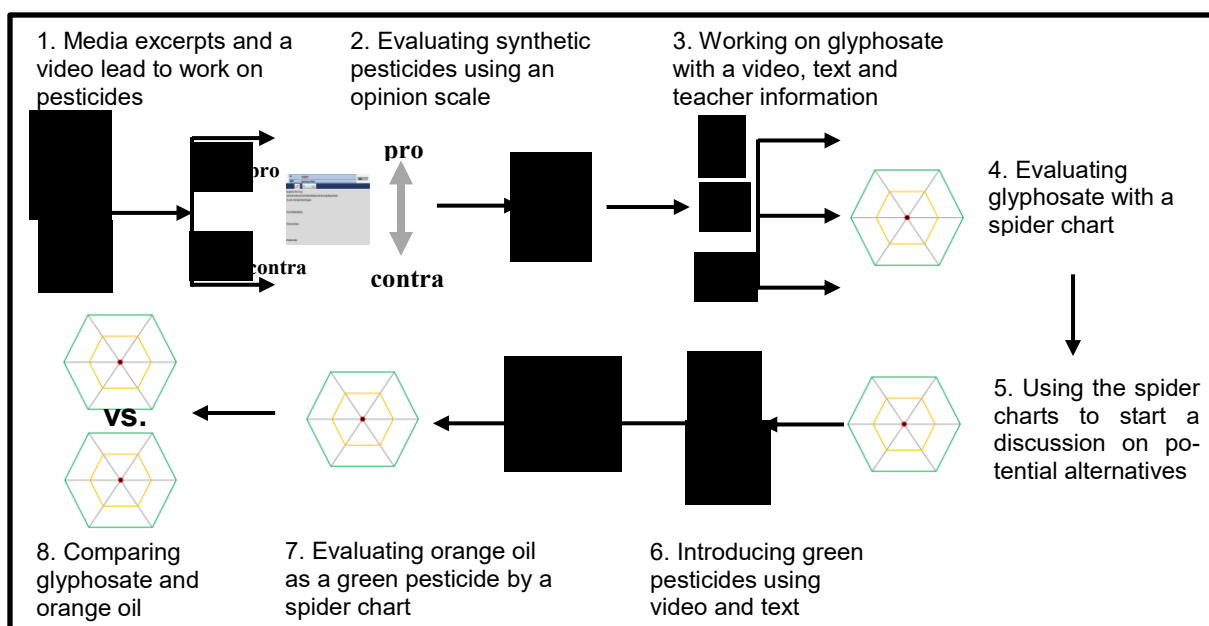


Figure 2. Course of the lesson plan (: plenum; : film; : text; : spider chart diagram)

5 Findings

Figure 3 shows the results of the Likert questionnaire. In general, most of the students perceived the topic to be interesting (over 90% agreed/agreed mostly) and thought that the topic should be taught in school (over 80% agreed/agreed mostly). However, only about 40% of the participants agreed or mostly agreed that the lessons had motivated them to follow media coverage on pesticides more intensively, although another 40% agreed at least partially. Roughly 60% of the students agreed or mostly agreed that they liked the idea of using video vignettes showing scientists, with another 30% agreeing partially with the idea. The innovation connecting chemistry learning in a German school to the geographical and economic context of a country like Brazil received split support. Nearly 20% agreed and a further 35% and 30% mostly or partially supported this corresponding claim, respectively. One item was answered by only about one-third of the participants ("I liked the fact that the experts were women.") This answer is not shown in Figure 3 because of the low answer rate. In informal feedback, some students stated that it didn't matter to them whether the chemistry experts presented in class were male or female. It seems that among these students, the prevalent image of a chemist is no longer male-dominated. This might be an indication that the previously prevalent stereotypical views of scientists are disappearing, at least in some developed countries (Fung, 2002).

The use of the spider charts was viewed positively by nearly all of the students. Most found it helpful (over 95% agreed / agreed mostly). Nearly all of the learners liked to work with them. Almost 90% of the students disagreed with statement that they had had problems following the lesson plan. A vast majority said that the material was well-designed (over 90% agreed/agreed mostly) and that they had not had any difficulties in solving the tasks. It seems that the complex issue of performing sustainability assessment based on given information was not seen as overwhelming by the students as was also reported in Burmeister and Eilks (2012).

After the module was completed, most of the students agreed that the chemical industry is important for our future. It was not seen as being one of the main reasons for environmental pollution. Here, more than 70% of the students agreed or mostly agreed that they were willing to pay more for fruits and vegetables. Slightly less students thought that green pesticides might

be a good alternative. More than 60% disagreed or only agreed partially that the decision to extend the approval for glyphosate by the EU was a good decision.

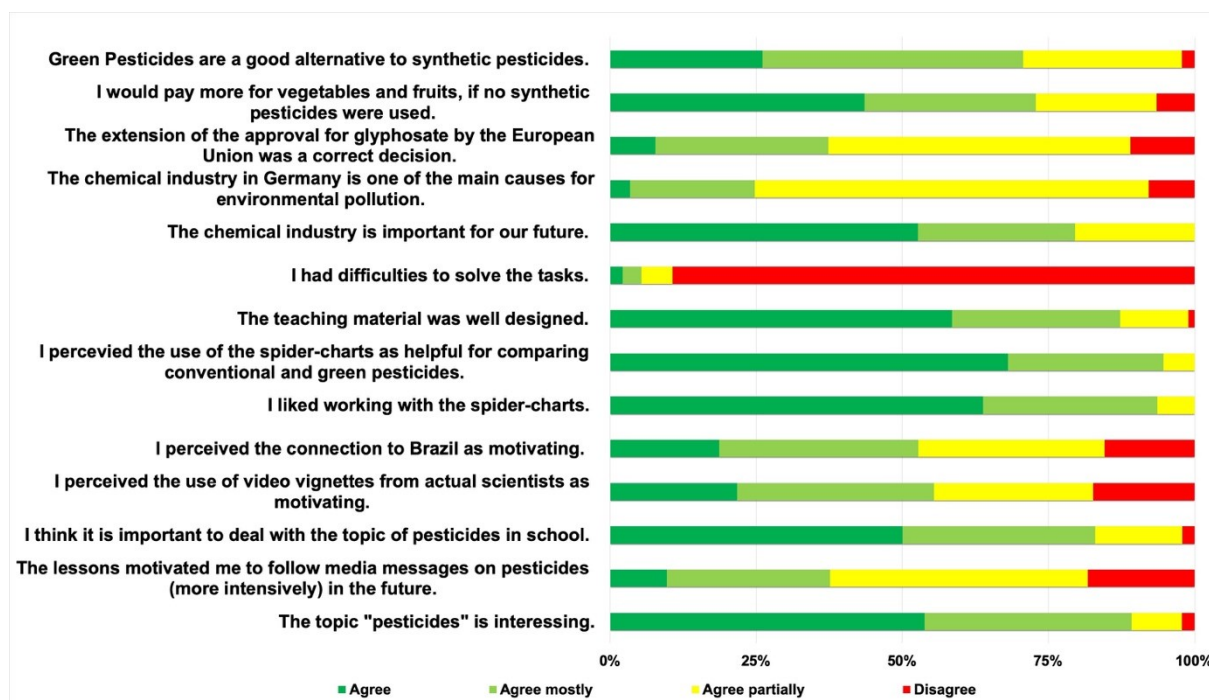


Figure 3. Students' answers on the Likert items ($n=95$; $m=44$; $f=43$; $d=6$; no answer=2)

Additionally, the students were asked to answer five open-ended questions: (1) Name the most important aspects you have learned during the lessons, (2) Describe the aspects you particularly liked during the lessons, (3) Describe the aspects we should change or improve, (4) Describe how you perceived "working with" a Brazilian chemistry professor, and (5) Formulate a position to the following claim: "Agriculture without pesticides – this doesn't work!". While answering questions most students stated that they had learned something about alternatives to conventional pesticides as well as the pros and cons of pesticides in general and glyphosate in particular. Many students named the potential effects of pesticide use on the environment and human health. About one-third of the students mentioned learning about the tension existing between specific societal needs, the (potential) negative consequences, and financial interests: "*Economy and ecology are at two ends of a spectrum here – the aim should be a compromise*". In one of the groups, about one-third of the learners stated that they did not learn that much new information, which must be seen in light of the teacher who reformed the curriculum towards green chemistry.

Nearly half of all the participants referred positively to the pedagogy of the lesson plan, namely the mixture of media use, different tasks, and the constant change in work forms between individual, pair and whole class presentations. Aspects of pedagogy which the students liked most included the use of the video sequences and the inclusion of spider charts to compare different pesticides (about one-third of the students mentioned both explicitly). Some students referred to the topic and the design of the material, as well as to the comparison of glyphosate and orange oil: "*I liked the interviews very much as well as our self-made diagrams (spider charts). But, overall I like the topic of green pesticides most.*" „*I especially liked the use of those 'spiderwebs', because it was very easy to see the opinion of all others and it was also fun.*" Regarding negative aspects and suggested improvements, most students said that there was either nothing to improve or left this field blank. A few students asked for a stronger focus on

the chemistry of pesticides or a deeper focus on different aspects. This occurred mostly in one group, which was an advanced course. To meet the request for a more chemistry-based view, we later designed a worksheet about the function of glyphosate for optional use. A very few other students criticized other parts of the lesson plan, saying that they would prefer to work individually rather than in groups, or that they sometimes needed more time.

Regarding the fourth question about “working with” a Brazilian chemistry professor, most students answered it in a positive way. As a reason they stated the authenticity of the involvement with a real scientist. Some of the students emphasized positively that their perspective was focused towards a Brazilian view or that the innovation of using video vignettes in class was good. Some students liked the video, but said that it was hard to understand everything due to the English language, despite the German subtitles. On the other hand, there was also thoroughly positive feedback on the video vignettes: *“I thought it would be a great idea to involve someone who is professionally involved and is able to tell so much about it. It was always easy to understand her, and she made you feel like she was sitting at the other end of the classroom.”* Only two students said that they were neutral regarding the videos. A few students pointed out that instead of videos a text could also be used. This might be related to the fact that a text can be taken anywhere and reread at will, whereas a video requires that the proper video access and/or playback devices are available. Videos also require quick uptake and retention skills, if they are not paused frequently or the material presented is very complex or totally new.

For question five about the students' position on banning the use of pesticides in agriculture, all answers were first categorized into the responses: agree, agree partially, disagree, or no statement (no text or arguments without connection to the statement). Afterward only the first three categories were analyzed further. About half of the students agreed to the statement in question five. They gave reasons such as a decrease in harvest yield or product quality, as well as connecting the topic to a growing world population and looking for further research. One example connected feeding the growing world population, necessary research, and to other aspects. It referred to a moderate use which can be legitimized: *“I think the statement is true, because without the use of pesticides, the harvest rate would decrease, e.g. due to pest infestation. As the world population is steadily growing and more people need to be fed, a waiver of pesticides would not be beneficial. Pesticides are being researched and threshold values are set for agricultural use [...]. Furthermore, there are alternatives to synthetic pesticides, which unfortunately are not as potent and are produced in smaller amounts than e.g. glyphosate. Thus, moderate use with care taken as to the dosage would be legitimate, so that the human health and the environment are not harmed.”*

About one-fourth of the students agreed only partially or disagreed based on similar reasons to those agreeing with the statement. Also, the disagreeing students argued that it's a difficult decision and said that harvest yield would probably decrease. None of the students disagreed without stating limitations like higher prices or decreasing harvest amounts. Interestingly, for the categories “partially agree” and “disagree” five students overall stated that a change in their consumer behavior might be of high importance for using less (or no) pesticides in future.

The filled-in spider charts for glyphosate and orange oil were also analyzed by measuring each spider chart and calculating a mean value for every criterion. Figure 4 provides the average values from the results of the students. Clear differences between the two pesticides become immediately visible.

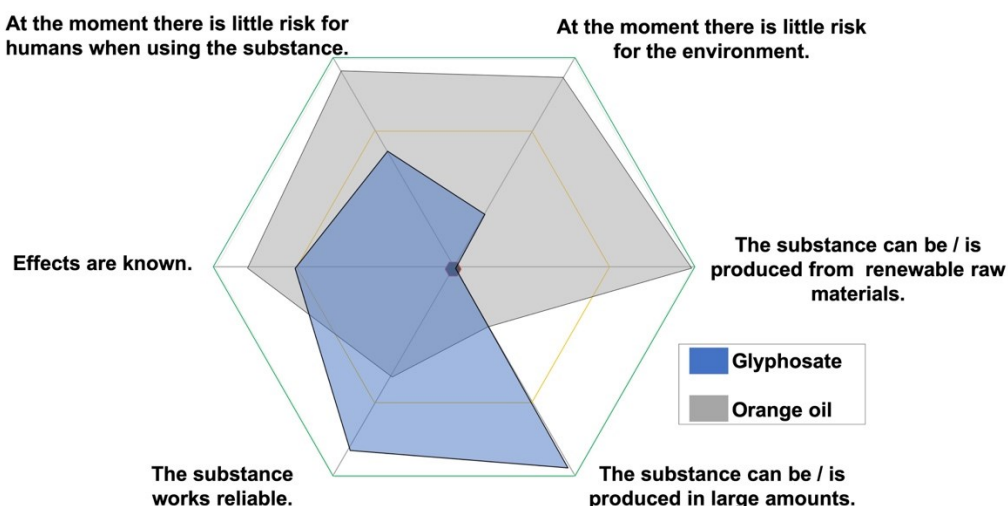


Figure 4. Mean values of the students' spider chart diagrams

6 Discussion and conclusion

The topic of pesticides is relevant, authentic and very present in current media offerings and political debates. It can, however, only rarely be found in chemistry teaching. This paper presents a case study integrating the societal debate on pesticide use with chemistry teaching in the sense of an SSI. To our knowledge, this is the first test case which has ever contrasted the use of conventional pesticides with chemistry's search for green alternatives in order to learn about green and sustainable chemistry efforts in secondary school chemistry education. Such approaches were suggested by the recent Global Chemicals Outlook II (GCOII) published by the United Nations (UNEP, 2019, Chapter 4).

The evaluation of this case shows that most students liked the topic and the lesson plan. They agreed on the importance of dealing with the use of pesticides in school chemistry teaching. Most students felt able to comprehend the controversy and the tension between the potential risks of pesticides uses and their benefits. Most students were open to paying more for vegetables and fruits, if no pesticides were used, thus indicating the perception of relevance of the topic to students' lives. Although this is only agreement with a Likert item, it shows the willingness of students to change something in their behavior, which can make learning about associated backgrounds relevant to chemistry education (Stuckey et al., 2013). This finding is also supported by the open-ended questions, showing that many students perceived the content learned to be relevant to them. The fact that many students linked pesticides to decreasing harvest yields, as well as the connection made by students to the growing world population, provide hints that they are developing a broader personal picture of chemistry, including the perception of the societal relevance of chemistry learning (Hofstein *et al.*, 2011). The majority also acknowledged that the chemical industry is important for the future – also highlighted e.g. by Matlin et al. (2015) or the GCO II (UNEP, 2019).

The implemented spider chart diagrams depict the student's results in a clear and functional fashion. Interestingly, all of students received the same information and achieved more or less the same results. In only in a few cases were major differences observed. Maybe such spikes were subject to mistakes and misinterpretations. Those spikes can, however, be discussed in class in light of the idea of filtered information, the idea that the presenter of any information can influence its reliability and trustworthiness, sometimes even more than the original data behind it suggests (Eilks *et al.*, 2012). The same might happen in daily media when journalists filter information while writing an article, making interpretations, committing mistakes, or coming to conclusions based on personal worldviews.

Although not unanimously agreed upon, there were many indications in the data that the involvement of a real scientist via video vignettes and the connection to the Brazilian context was appreciated by most of the students, at least to a certain extent. Especially the open-ended questions showed that many students named the videos as the aspect they liked most, and that involvement of the Brazilian expert was highly appreciated. The learners liked hearing from an authentic expert, but it was unimportant to them whether this was a male or female expert. This is a sign that students are starting to abstain from prevalent images of chemists, which tended to be male-dominated in the past (Fung, 2002). However, this image is still current in developing countries as Brazil, especially at the level of more experienced scientists (Santos *et al.*, 2019).

Although only a few students named potential changes for the lesson plan in their feedback and primarily reiterated their broad positive feedback, especially regarding the videos and spider chart diagrams, there are several indications that this teaching approach is an appropriate way to introduce the complex topic of pesticide use in a limited amount of time. Based on the open-ended answers, there is hope that learning about pesticides in an SSI approach fosters student perception of the societal relevance of chemistry (Stuckey *et al.*, 2013) by showing that there is ongoing research trying to develop alternatives to reduce risks associated with chemical use.

The case presented here is limited to the German educational context, and the senior secondary schooling level. The study was not connected to an evaluation of how this lesson plan interacted with learning the basic chemistry behind the issue of pesticides, since this was not in the focus of the lesson plan materials. This lesson plan was purposely not overloaded with too much pure chemistry content knowledge, because it focused primarily on gaining a broader understanding of the role of chemistry in students' daily lives and in society as suggested by Mahaffy (2015). Further studies might reveal whether there is any potential for integrating more theoretical chemistry concepts or practical work, especially when the issue is implemented in advanced level courses or at the undergraduate teaching level. Already-existing examples at the higher education level such as Kegley *et al.* (1996) may provide guidance.

Core innovations in the lesson plan included both working with video vignettes presented by an authentic scientist and the use of spider charts for sustainability assessment. The spider charts and their use might be further modified and developed based on research so that they can be used for analyzing more complex products or processes. Further research can, for instance, evaluate their usefulness to show any gains in learners' understanding of complex chemistry issues. Also, the use of video vignettes hosted by experts from chemistry research might be further evaluated in terms of design, motivational aspects, or the most effective application of their uses. The material in German language can be found here: <http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/materialien.php> (password: Br4s1L13n)

Acknowledgment

We gratefully acknowledge the support by BremenIDEA and the DAAD for providing a research travel grant that made this curriculum design-project possible. The authors would also like to thank the CNPq (310149/2017-7, 421096/2016-0 and 311000/2014-2), FAPESP (18/11409-0 and 17/25015-1) and IUPAC (2013-041-3-300) for their financial support.

Literature

Anastas P.T. and Warner C.J., (1998), *Green chemistry: theory and practice*, Oxford: Oxford University Press.

- Andreotti G., Koutros S., Hofmann J. N., Sandler D. P., Lubin J. H., Lynch C. H., Lerro C. C., De Roos A. J., Parks C. G., Alavanja M. C., Silverman D. T., and Beane Freeman, L. E., (2018), Glyphosate use and cancer incidence in the agricultural health study, *J. Nat. Cancer Inst.*, **110** (5), 509-516.
- Asada Y., Tsuzuki M., Akiyama S., Macer N. Y. and Macer, D. R. J., (1996), High school teaching of bioethics in New Zealand, Australia and Japan, *J. Moral Educ.*, **25**(4), 401-420.
- Abessa D., Famá A. and Buruaem L., (2019), The systematic dismantling of Brazilian environmental laws risks losses on all fronts, *Nat. Eco. Evo.*, **3**, 510-511.
- Bodner G., MacIsaac D. and White S., (1999), Action research: Overcoming the sports mentality approach to assessment/evaluation, *Univ. Chem. Educ.*, **3**(1), 31-36.
- Brillsauer K., Rapp J., Rath P., Schöllhorn A., Bleul, L., Weiß E., Stahl M., Grond S. and Forschhammer K., (2019), Cyanobacterial antimetabolite 7-deoxysedoheptulose blocks the shikimate pathway to inhibit the growth of prototrophic organisms, *Nat. Commun.*, **10**, 545.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (ed.), (2017a), Rückstände von Pflanzenschutzmitteln- Gesundheit geht vor, Bonn: BMEL. (in German)
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, (2017b), *Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Nutzung von Pflanzenschutzmitteln*, [online], available at: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf?__blob=publicationFile [accessed 9 Dec 2018]. (in German)
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), (2016a), *Spezial – Pflanzenschutzmittel*, [online], available at: <https://www.bfr.bund.de/cm/350/bfr-verbrauchermonitor-2016-spezial-pflanzenschutzmittel.pdf> [accessed 9 Dec 2018]. (in German)
- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), (2016b), *Fragen und Antworten zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos von Glyphosat*, [online], available at: <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zur-bewertung-des-gesundheitlichen-risikos-von-glyphosat.pdf> [accessed 9 Dec 2018]. (in German)
- Burmeister M., Rauch F. and Eilks I., (2012), Education for sustainable development (ESD) and chemistry education, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **13**, 59–68.
- Burmeister M. and Eilks I., (2012), An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to education for sustainable development in secondary school chemistry teaching, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **13**, 93–102.
- Carson R., (1962), *Silent Spring*, Boston: Houghton Mifflin.
- Christensson C. and Sjöström J., (2014), Chemistry in context: Analysis of thematic chemistry videos available online, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **15**, 59-69.
- Cooper J. and Dobson H., (2007), The benefits of pesticides to mankind and the environment, *Crop Protec.*, **26**, 1337-1348.
- Copping L. G. and Hewitt H. G., (ed.), (1988), *Chemistry and mode of action of crop protection agents*, London: RSC.
- Correa A., Zuin V.G., Ferreira V. and Vazquez P., (2013), Green chemistry in Brazil. *Pure and Appl. Chem.*, **85**(8), 1643-1653.
- Ciriminna R., Meneguzzo F. and Pagliaro M., (2017), Orange Oil, in Nollet, L. M. L. and Rathore, H. R. (ed.), *Green pesticide handbook – Essential oils for pest control*, Boca Raton: CRC, pp. 291-398.
- Crutzen P., (2002), Geology of mankind, *Nat.*, **415**, 23.

- Cullipher S., Sevia H. and Talanquer V., (2015), The effect of instructional method on teaching assistants' classroom discourse, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **17**, 590-603.
- Current K. and Kowalske Grunert M., (2016), The influence of PBL on students' self-efficacy beliefs in chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **16**, 929- 938.
- Davis E. J., Pauls S. and Dick J., (2017), Project-based learning in undergraduate environmental chemistry laboratory: Using EPA methods to guide student method development for pesticide quantitation, *J. Chem. Educ.*, **94**, 451-457.
- Eilks I., (2018), Action research in science education: a twenty-years personal perspective, *Act. Res. Innov. Sci. Educ.*, **1**(1), 3-14.
- Eilks I., Nielsen J. A. and Hofstein A., (2014), Learning about the role of science in public debate as an essential component of scientific literacy, in Tiberghien A., Bruguière C. and Clément P. (ed.), *Topics and trends in current science education*, Dordrecht: Springer, pp. 85-100.
- Eilks I. and Ralle B., (2002), Participatory action research in chemical education, in Ralle B. and Eilks I. (ed.), *Research in chemical education—What does this mean?*, Aachen: Shaker, pp. 87-98.
- European Food Safety Authority (EFSA), (2018), *Pesticides*, [online], available at: <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/pesticides> (30.11.2018)
- European Union, (2009), *DIRECTIVE 2009/128/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticide*, [online], available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:en:PDF> [accessed 9 Dec 2018].
- Felton D. E., Ederer M., Steffens T., Hartzell P. L. and Waynant K. V., (2018), UV-Vis spectrophotometric analysis and quantification of glyphosate for an interdisciplinary undergraduate laboratory, *J. Chem. Educ.*, **95**, 136-140.
- Fung Y. Y., (2002), A comparative study of primary and secondary school students' images of scientists, *Res. Sci. Technol. Educ.*, **20**(2), 199-213.
- Griggs D., Stafford-Smith M., Gaffney O., Rockström J., Öhman M. C., Shyamsundar P., Steffen W., Glaser G., Kanie N. and Noble I., (2013), Sustainable development goals for people and planet, *Nat.*, **495**, 305-307.
- Harsh J., Esteb J. J. and Maltese A. V., (2017), Evaluating the development of chemistry undergraduate researchers' scientific thinking skills using performance-data: first findings from the performance assessment of undergraduate research (PURE) instrument, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **18**, 472-485.
- Harsh J., (2016), Designing performance-based measures to assess the scientific thinking skills of chemistry undergraduate researchers, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **17**, 808-817.
- Hastik R., Fernandez-Delgado Juarez M., Moya L., Präg N., Probst M., Rofner C., Walter A. and Insam H., (2013), Vom stummen Frühling zum langen Winter? - 50 Jahre Kontroverse über die Verwendung von Pestiziden und deren Folgen für Mensch und Umwelt, *GW-Unterricht*, **130**, 5-14. (in German)
- Hofstein A., Eilks I. and Bybee R., (2011), Societal issues and their importance for contemporary science education – a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany and the USA, *Int. J. Sci. Math. Educ.*, **9**, 1459-1483.
- Hartwell S. K., (2012), Exploring the potential for using inexpensive natural reagents extracted from plants to teach chemical analysis, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **13**, 135-146.

- Hemmer, I. and Hemmer, M., (2017), Teachers' interests in geography topics and regions – How they differ from students' interests? Empirical findings. *Review of International Geographical Education Online*, **7**(1) Spring, 9-23.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), (2016), *Glyphosate*, [online], available at: <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono112-10.pdf> [accessed 9 Dec 2018].
- Juntunen M.K. and Aksela M.K., (2014), Education for sustainable development in chemistry – challenges, possibilities and pedagogical models in Finland and elsewhere, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **15**, 488-500.
- Kegley S., Stacy A. M. and Carroll M. K., (1996), Environmental Chemistry in the general chemistry laboratory, Part I: A context-based approach to teaching chemistry, *Chem. Educator*, **1**(4), 1-14.
- Krämer W. and Schirmer U., (2008), *Modern crop protection compounds*, Weinheim: Wiley-VCH.
- Küchler T. and Zaller J. G., (2018), Die Diskussion um Glyphosat ist nicht sachlich – Entscheidungen nach dem Vorsorgeprinzip sind gefordert, *Nachr. Chem.*, **66**, 992-993. (in German)
- Mahaffy P. G., Krief A., Hopf H., Mehta G. and Matlin S. A., (2018), Reorienting chemistry education through systems thinking, *Nat. Rev. Chem.*, **2** (0126), 1-3.
- Mahaffy P. G., (2015), Chemistry education and human activity, in Garcia-Martinez J. and Serrano E. (ed.), *Chemistry education*, Weinheim: Wiley-VCH, pp. 3-26.
- Mandler D., Mamlok-Naaman R., Blonder R., Yayan M. and Hofstein A., (2012), High-school chemistry teaching through environmentally oriented curricula, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **13**, 80–92.
- Mataka L. M. and Kowalske Grunert M., (2015), The influence of PBL on students' self-efficacy beliefs in chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **16**, 929- 938.
- Matlin S. A. Mehta G., Hopf H. and Krief A., (2015), The role of chemistry in inventing a sustainable future, *Nat. Chem.*, **7**, 941-943.
- Marks R. and Eilks I., (2010), Research-based development of a lesson plan on shower gels and musk fragrances following a socio-critical and problem-oriented approach to chemistry teaching, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **11**(2), 129-141.
- Marks R. and Eilks I., (2009), Promoting scientific literacy using a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching: Concept, examples, experiences, *Int. J. Environ. Sci. Educ.*, **4**(3), 231-245.
- Mayring P., (2000), Qualitative content analysis, *Forum Qual. Soc. Res.*, **1**(2). [online], available at: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1089/2386>. [accessed 9 Dec 2018].
- McElroy C. R., Constantinou A., Jones L. C., Summerton L. and Clark J. H., (2015), Towards a holistic approach to metrics for the 21st century pharmaceutical industry, *Green Chem.*, **17**, 3111–3121.
- Motta E. V. S., Raymann K. and Moran N. A., (2018), Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **115**(41), 10305–10310.
- O'Hara P. B., Sanborn H. and Howard M., (1999), Pesticides in drinking water: Project-based learning within the introductory chemistry curriculum, *J. Chem. Educ.*, **76**(12), 1673-1677.

- Osborne J., (2003), Attitudes towards science: a review of the literature and its implications, *Int. J. Sci. Educ.*, **25**, 1049-1079.
- Osborne J. and Dillon J., (2008), *Science education in Europe: Critical reflections*, London: Nuffield Foundation.
- Radford S. A., Hunter R. E., Boyd Barr D. and Ryan P. B., (2013), Liquid-liquid extraction of insecticides from juice: An analytical chemistry laboratory experiment, *J. Chem. Educ.*, **90**, 483-486.
- Rathore H. R., (2017), Green pesticides for organic farming: Occurrence and properties of essential oils for use in pest control, in Nollet, L. M. L. and Rathore H. R. (eds.), *Green pesticide handbook – Essential oils for pest control*, Boca Raton: CRC, 3-25.
- Ribeiro M. G. T. C., Costa D. A. and Machado A. A. S. C., (2010), "Green Star": a holistic green chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments, *Green Chem. Let. Rev.*, **3**(2), 149-159.
- Ryno L. M. and Cottine C., (2018), Biological impact and ethical implications of pesticide use: a short module for upper-division-undergraduate biochemistry courses, *J. Chem. Educ.*, **95**, 1771-1777.
- Sadler T. D., (2011), Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education, in Sadler T. D. (ed.), *Socio-scientific issues in the classroom*, Dordrecht: Springer, pp. 1-9.
- Sadler T. D., (2004), Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research, *J. Res. Sci. Teach.*, **41**, 513-536.
- Santos N. C. F., Valli M. and Bolzani V. S., (2019), A brief overview on Brazilian women in chemistry, *Pure and Appl. Chem.*, **91**(4), 743-749.
- Schaeffer A., Hollert H., Ratte H. T., Roß-Nickoll M., Filser J., Matthies M., Oehlmann J., Scheringer M., Schulz R. and Seitz A., (2009), An indispensable asset at risk: merits and needs of chemicals-related environmental sciences, *Environ. Sci. Pollution Res.*, **16**, 410-413.
- Seitz T., Hoffmann M. G. and Krähmer H., (2003), Chemische Unkrautbekämpfung – Herbizide für die Landwirtschaft, *Chem. in unserer Zeit*, **37**, 112-126. (in German)
- Simonneaux L., (2014), From promoting the techno-sciences to activism – A variety of objectives involved in the teaching of SSIs., in Bencze L. and Alsop S. (ed.), *Activist Science and Technology Education*, Dordrecht: Springer, pp. 99-111.
- Simonneaux J. and Simonneaux J., (2012), Educational configurations for teaching environmental socioscientific issues within the perspective, *Res. Sci. Educ.*, **42**, 75-94.
- Sjöström J., Eilks I. and Zuin V. G., (2016), Towards eco-reflexive science education - A critical reflection about educational implications of Green Chemistry, *Sci. Educ.*, **25**, 321-341.
- Sjöström J., (2013), Towards Bildung-oriented chemistry education, *Sci. & Educ.*, **22**, 1873-1890.
- Stewart T. M., (2014), Teaching future crop protection practitioners through the use of on-line cases: Practicing IPM spray decisions in New Zealand Apple Orchards, *J. Agricult. Educ. Exten.*, **21**(5), 405-419
- Steffen W., Richardson K., Rockström J., Cornell S. E., Fetzer I., Bennett I. M., Biggs R., Carpenter S. R., de Vries W., de Wit C. A., Folke C., Gerten D., Heinke J., Mace G. M., Persson L. M., Ramanathan V., Reyers B. and Sörlin S., (2015), Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Sci*, **347**(6223), 736-747.

- Stolz M., Witteck T., Marks R. and Eilks I., (2013), Reflecting socio-scientific issues for science education coming from the case of curriculum development on doping in chemistry education, *Eurasia J. Math., Sci. Technol. Educ.*, **9**, 361-371.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., and Eilks, I., (2013), The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum, *Stud. Sci. Educ.*, **49**, 1-34.
- Tytler R., (2012), Socio-scientific issues, sustainability and science education, *Res. Sci. Educ.*, **42**, 155–163.
- Umweltbundesamt (UBA), (2018), *Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft*, [online], available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#textpart-1> [accessed 9 Dec 2018].
- United Nations (UN), (2015), *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, [online], available at: www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [accessed 31 Jan 2019].
- United Nations Environment Programme (UNEP), (2019), *Global Chemicals Outlook II*. [online], available at: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/policy-and-governance/global-chemicals-outlook> [accessed 31 Jan 2019].
- United States Environmental Protection (EPA), (2019), *Basic Information about Pesticides Ingredients*, [online], available at: www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/basic-information-about-pesticide-ingredients. [accessed 10 Feb 2019].
- Unsworth J., (2010), *History of Pesticide Use*, [online], available at: http://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31 [accessed 9 Dec 2018].
- Vilches A. and Gil-Pérez D., (2013), Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching, *Sci. Educ.*, **22**, 1857-1872.
- Williams P. R. D. and Hammitt J. K., (2001), Perceived Risks of Conventional and Organic Produce: Pesticides, Pathogens, and Natural Toxins. *Risk Anal.*, **21**(2), 319-330.
- Zeidler D. L., (2015), Socioscientific Issues, in Gunstone, R. (ed.), *Encyclopedia of Science Education*, Dordrecht: Springer, pp. 998-1003.
- Zeidler D. L., Sadler T. D., Berson M. J. and Fogelman A. L., (2002), Bad science and its social implications, *Educ. Forum*, **66**(2), 134-146.
- Zoller U., (2000), Interdisciplinary systemic HOCS development – The Key for meaningful STES oriented chemical education, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **1**, 189-200.
- Zuin V. G., (2016a), Circularity in green chemical products, processes and services: innovative routes based on integrated eco-design and solution systems, *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, **2**, 40–44.
- Zuin V. G., (2016b), Green sample preparation of complex matrices: towards sustainable separations of organic compounds based on the biorefinery concept, *Pure and Appl. Chem.*, **88**, 29–36.
- Zuin V. G., (2018), Beyond the introduction to green chemistry: building bridges towards a new interdisciplinary module for Brazilian teacher education in chemistry. in Eilks, I., Markic, S. and Ralle, B. (ed.), *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future*, Aachen: Shaker, pp.163–173.

Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht

Christian Zowada, Michael Linkwitz, Antje Siol & Ingo Eilks

Für diese Publikation ist keine Parallelpublikation erlaubt. Sie ist unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Anhang V: Fallstudie Phosphat

Die hier aufgeführten Publikationen zeigen, wie das Thema Phosphatrückgewinnung in den Unterricht eingeführt werden können, wobei auch Experimente genutzt werden können.

Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Wichtiger und fächerübergreifender als man denkt: Phosphor und die Phosphate. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 170, 32-37.

Zowada, C.; Gulacar, O.; Siol, A. & Eilks, I. (2019). Phosphorus – A “political” element for transdisciplinary chemistry education. *Chemistry Teacher International*, angenommen.

Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphatrückgewinnung - angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor. *Chemie konkret*, 26(4), 158-164.

Zowada, C.; Siol, A.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Phosphate recovery as a topic for practical and interdisciplinary chemistry learning. *Journal of Chemical Education*, angenommen.

Folgend sollen die vier oben aufgeführten Publikationen gemeinsam betrachtet werden. Das erstellte Schülerlabor wurde von Antje Siol und mir gestaltet, wobei einige Bachelorarbeiten genutzt wurden, um einige Versuche basal zu entwickeln. Die Erstellung des gesamten Materials (Lernumgebung und Versuchsanleitung sowie Handreichungen) wurde durch mich erstellt und im Laufe des Projektes gemeinsam mit der Aktionsforschungsgruppe, dem erhaltenen Feedback und den anderen Autor*Innen überarbeitet. Für die englische Variante der Lernumgebung wurde diese durch mich übersetzt und gemeinsam mit Ozcan Gulacar bearbeitet, welcher sie dann finalisiert hat. Die Erprobung in Deutschland wurde durch Antje Siol und mich durchgeführt. Die Instrumente für die Evaluierung wurden von mir erstellt und gemeinsam mit Ingo Eilks überarbeitet. Für die Erprobungen in Amerika wurde von Ozcan Gulacar das Vorgehen der Fracking Fallstudie eigenständig übernommen. Das Evaluierungsinstrument wurde durch mich erstellt und gemeinsam mit Ingo Eilks und Ozcan Gulacar überarbeitet. Ozcan Gulacar führte die Erprobung in den USA durch. Daten aller Fallstudien wurden durch mich ausgewertet und analysiert. Alle Manuskripte wurden durch mich in erster Fassung verfasst und dann mit den weiteren Autor*Innen überarbeitet.

Gulacar, O.; Zowada, C.; Burke, S., Nabavizadeh, A., Bernardo, A. & Eilks, I. Integration of a Socio-Scientific Issue into the General Chemistry Curriculum: Examining the Effects on Student Motivation and Self- Efficacy. *Chemistry Education Research and Practice*, major revisions.

Die Arbeit baut auf der oben gestalteten Lernumgebung für die US-Lehre auf und wurde im selben Durchgang, wie die oben erwähnten Ergebnisse empirisch tiefergehend beforscht. Dies geschah federführend durch Ozcan Gulacar und wurde durch mich sowie die anderen Autor*Innen ergänzt. Ebenso wurden die gemachten Analysen und Interpretationen maßgeblich durch Ozcan Gulacar durchgeführt.

Phosphor und Phosphate in der aktuellen Nachhaltigkeitsdiskussion

Christian Zowada, Antje Siol, Ozcan Gulacar und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist nicht bekannt, ob eine Parallelpublikation erlaubt ist. Daher ist sie unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Phosphorus – a „political“ element for transdisciplinary chemistry education

Christian Zowada, Antje Siol, Ozcan Gulacar und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist keine Parallelpublikation erlaubt. Sie ist unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden

Phosphatrückgewinnung – angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor

Christian Zowada, Antje Siol, Ozcan Gulacar und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist keine Parallelpublikation erlaubt. Sie ist unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Phosphate Recovery as a Topic for Practical and Interdisciplinary Chemistry Learning

Christian Zowada, Antje Siol, Ozcan Gulacar und Ingo Eilks

Für diese Publikation ist keine Parallelpublikation erlaubt. Sie ist unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Integration of a Socio-Scientific Issue into The Generaly Chemistry Curriculum: Examining the Effects on Student Motivation and Self-Efficacy

Ozcan Gulacar, Christian Zowada, Sally Burke, Aryana Nabavizadeh, Ashley Bernado und Ingo Eilks

Diese Publikation liegt aufgrund der Co-Autorenschaft nicht in einem nicht dem Publisher zuzuordnenden Format vor. Daher ist sie unter der entsprechenden Literaturangabe zu finden.

Anhang VI: Aktionsforschung


Die hier aufgeführte Publikation zeigt, wie die Themen Fracking und Phosphatrückgewinnung unter Nutzung von Aktionsforschung in die US-Lehre integriert werden können.

Zowada, C.; Gulacar, O. & Eilks, I. (2019). Innovating Undergraduate General Chemistry by Integrating Sustainability-related Socio-scientific Issues. *ARISE Journal*, 1(2), 3-8.

Der hier vorliegende Artikel wurde in seiner Rohfassung durch mich erstellt. Das Modell wurde von mir entwickelt und im Diskurs mit den weiteren Autoren weiterentwickelt. Die Überarbeitung des Artikels erfolgte durch alle Autoren, wobei Ozcan Gulacar an einigen Stellen konkrete Informationen zu den Erprobungen ergänzte, da diese durch ihn durchgeführt wurden.

ARTICLE

Innovating Undergraduate General Chemistry by Integrating Sustainability-related Socio-Scientific Issues

Christian Zowada* 

University of Bremen, Germany
christian.zowada@uni-bremen.de

Ozcan Gulacar 

University of California Davis, USA

Ingo Eilks 

University of Bremen, Germany

Many general chemistry courses in U.S. undergraduate education focus on decontextualized content learning, driven by a structure-of-the-discipline approach. Due to this approach, many students perceive general chemistry to be of low relevance to their educations, their lives, and society as a whole. This paper reflects a process of innovation for the integration of sustainability-related socio-scientific issues into U.S. undergraduate general chemistry courses to make chemistry learning more meaningful and relevant to the learners. The innovation originated from teaching and learning materials developed in Germany. Digital learning environments were created on hydraulic fracturing and phosphate recovery, two hot socio-scientific issues, which were then transferred, adapted, and implemented in the USA. This paper reflects selected students' feedback and how this process initiated ongoing curriculum innovation.

Keywords: Action Research, Undergraduate Education, Chemistry Education, Socio-Scientific Issues

• Received 30 October 2018 • Revised 30 November 2018 • Accepted 3 December 2018

Introduction

Chemistry and chemistry knowledge play an important role for responsibly living in the modern world and for developing a sustainable future (Martin, Mehra, Hopf & Krief, 2015). Hence, chemists and chemistry educators have the responsibility of helping to shape the future, both in developing sustainable technologies as well as educating the young generation for responsible citizenship (Eilks, Sjöström & Zain, 2018). Chemistry learning is, however, often perceived as irrelevant by students and thus becomes unpopular. There is a lack of efforts to make the connection between chemistry and its role in everyday life and society clear to learners (Jenkins & Nelson, 2005; Osborne & Dillon, 2008). A solution to overcome the perceived irrelevance of

chemistry learning is suggested through the integration of more societal questions and controversial socio-scientific issues (SSIs) into the science curriculum (Snuckey, Hofstern, Mamlok-Naaman & Eilks, 2013). Such approaches are suggested to have a large potential to reform educational efforts that promote sustainable development (Eilks & Hofstern, 2014). However, these approaches are still missing in many science education practices (Hofstern, Eilks & Bybee, 2011).

The idea of integrating contexts and societal issues into teaching and learning of chemistry in order to prepare young learners for their future is not new (Hodson, 2003; Osborne, 2007). In these scenarios, effective teaching practices are utilized to bring the societal dimension of chemistry into teaching and engage students in the processes of debate and discussion (Marks & Eilks, 2009). However, only a very small portion of general chemistry professors have adapted these methods so far, while most focus on "pure chemistry" only, which is, to some extent, isolated from individual life and society (Cooper, 2010; Cooper & Klymkowsky, 2013).

Teachers who have realized that the methods they have been using are ineffective in showing the power of the chemistry knowledge to their students and are willing to change the scope and pedagogy of their teaching should explore action and design research studies as a way of developing new models and teaching approaches (Hodson, 2003; Nieveen & Plomp, 2013). This paper reports how curriculum innovation based on action research in Germany inspired a chemistry professor in the USA to implement similar designs and to learn about potential effects. The discussion goes along two cases of curriculum innovation in college-level general chemistry at a research university located in northern California and gives insights into students' perceptions and effects of such interventions.

Sustainability-related issues in chemistry education

Education for sustainable development (ESD) aims to promote the notion of learners being responsibly prepared for the future. Thus far, in accordance with the Agenda 21 (UNCED: 1992), the UN-Decade of Education for Sustainable Development and similar reports have been issued, each emphasizing the crucial role of education for sustainable development. In 2015, the United Nations announced: Transforming our world - the 2030 Agenda for Sustainable Development (UN, 2015). One hundred and ninety-three countries agreed to take responsible actions for sustainable development. The UN-document refers to a view on sustainable development with its three dimensions (environmental, societal, economic sustainability) in a balanced way. Although, there are other ideas to create a style of living "that meets the needs of the present while safeguarding Earth's life-support system, on which the welfare of current and future generations depends" (Griggs et al., 2013; p. 306).

Chemistry is central when it comes to innovations and developments, as highlighted in the production of new forms of sustainable energy supply or the application of "greener" technologies (Martin et al., 2015). The connection of sustainable development and chemistry education has long been made (Burmeister, Rauch & Eilks, 2012) and became well justified in theory in recent years (Sjöström, Eilks & Zain, 2016; Sjöström & Talanquer, 2018). Chemistry

education, among all other educational domains, is suggested to have a core role in contributing to ESD at all levels including college level education (Andriatos & Dicks, 2012). This also requires a different approach to reform efforts in chemistry education and chemistry teacher education (Zuin, 2012). To merge chemistry learning with ESD, the teaching and learning of chemistry should not focus on abstract and narrow content knowledge only. The incorporation of a broader view from many perspectives, such as the environment, economy, and society, is needed. Hodson (2003) names several potential topics like food and agriculture including the politics of starvation, energy resources, politics of the petroleum industry, and the use of water and mineral resources. Many of these topics are directly addressed by the Sustainable Development Goals of the United Nations issued in the Agenda 2030 (UN, 2015).

Science education must have a central position in cultivating the next generation of students in order to create responsible future citizens who are able “to make informed, responsible choices in an increasingly complex world, and to adapt to the continuous changes that the world undergoes” (Elmose & Roth, 2005, p. 31; Sadler, 2011). Chemistry learning can be made more meaningful and progressed to contribute to the development of responsible citizenry by teaching the societal dimension of chemistry along socio-scientific issues. This provides students with the opportunity to discuss societal dilemmas and their relatedness to science by involving controversial perspectives and calling for a justification of arguments (Sadler, 2004). The method works better if the students start discussing familiar life situations first and continue questioning the type of knowledge that can benefit future citizens. This approach can be called an external perspective on science. Using such external perspectives in science teaching is suggested for their potential to increase the relevance of science teaching and learning (Hofstein et al., 2011).

According to Shuckey et al. (2013) relevance of science teaching and learning is based in three dimensions (individual, societal and vocational relevance), internal and external components and a time scale from now to future. Relevant science learning takes place if the learning has (positive) consequences for the learners now or in the future. Therefore, SSIs should foster relevant science learning when they are connected to sustainability challenges that the young generation and our society need to tackle and are charged to come up with a solution (Hofstein & Eilks, 2014). Sustainability-related SSIs generally are interdisciplinary, incorporate societal and ethical values, and can lead to activism, making them ideal to revamp science teaching (Simonneaux, 2014).

One approach to teaching SSIs in chemistry education is the socio-critical and problem-oriented approach to science teaching (Marts & Eilks, 2009). This approach suggests starting from authentic problems that attracted media's attention leading to questions to be clarified based on science and technology. Afterward, it focuses on the socio-scientific dimensions by discussing and evaluating different perspectives leading over to a meta-reflection on the use of science in society. The approach is a bottom-up curriculum model developed along a series of many action research cases (e.g., Marts & Eilks, 2010). The model proved to lead students into intense discussions about applications and consequences that chemistry and modern technologies have (e.g., Eilks, 2002). However, this model has been developed and tested mainly in lower and upper secondary science education so far. The cases of adapting the basic ideas of this approach for undergraduate general chemistry remain scarce.

Two new sustainability-related topics for secondary chemistry teaching

In a project of participatory action research as suggested by Eilks and Ralle (2002) and illustrated by Marts and Eilks (2010), two lesson plans for German lower and upper secondary chemistry education were developed with a group of experienced teachers, which exists now for almost twenty years (Eilks, 2018). On monthly meetings, the teachers provided feedback on the original designs in three iterations each. The teachers reviewed and commented on the digital learning environment and in the second case also on the experimental instructions. In each iteration, changes were applied on the material before classroom testing led to final changes based on student feedback. One example focuses on fracking (Zowada & Eilks, 2018), the other on the problem of the critical raw material phosphate and modern technologies for phosphate recovery (Zowada, Siol, Gulacar & Eilks, under review). Both lesson plans were introduced via digital learning environments, which were developed using Prezi software. This system provides the opportunity to build open learning platforms where content can be arranged freely to give students the chance to deepen the areas they want to know more about (Krause & Eilks, 2014). Prezi also has been used for other learning scenarios such as the use of cosmetics and coffee production (Hoeg et al., 2016). The topics of the interventions and the content of both learning environments are described briefly below.

(1) Fracking is a method, which uses a hydraulic medium, so-called fracturing fluid, to extract oil and gas from unconventional deposits, where the resources are very dispersed. The fracturing fluid is pumped into the deposit with high pressure to crack the rock. The hydraulic medium connects small reservoirs to make the drilling profitable. The fracturing fluid contains mostly water and proppants to keep the occurring fractures open. Additionally, other additives in small amounts can be, e.g., methanol. A lot of debate has occurred around this hydraulic fracturing, in short debate is referring to earthquakes, possible contamination of groundwater, or the influence on climate change. Today, there is a factual ban in Germany for fracking. Meanwhile, it is used every day in the USA (Zowada, Gulacar & Eilks, 2018). The adapted digital learning environment for the USA emphasizes four topics: the process, fracturing fluid, situation in media and different opinions on fracking and potential environmental issues including earthquakes, drinking water contamination, the demand for water, and release of radioactivity, climate change.

(2) For the second intervention, a topic around phosphate resources, its uses, and recovery methods were selected. Since 2014 phosphate rock has been identified as a critical raw material according to the European Commission (2014). Critical raw materials have a high economic importance and a certain supply risk. The high economic importance lays on the increasing demand of phosphate as a fertilizer. The supply risk arises from the natural distribution of phosphate rock. About 75% of all phosphate reserves in the world are located in Morocco and Western Sahara. Additionally, the use of phosphate is not equally distributed throughout the world. Four countries use about 70% of the world's phosphate for fertilizer: China, India, the USA, and Brazil. Meanwhile, the countries in Africa in total, with their fast-growing population, have access to only a few percents. Although running out of phosphate seems unlikely in the near future (Killiches, 2013), recycling phosphate out of sewage sludge and waste waters is suggested to lower supply risks and to better protect the environment. In recent years, several

5

environmental technologies have been developed for phosphate recovery. However, they are still in the emerging state and society has to decide whether corresponding investments should be made. The adapted digital learning environment emphasizes four questions: What is phosphate, how is phosphate used, why is phosphate a limited resource, and how can phosphate be recycled.

Transferring sustainability-related SSIs into undergraduate general chemistry

Based on the observed need to better connect chemistry learning with life and society and the suggestions from the literature (Hofstren et al., 2010), an approach was adopted to evaluate the effects of incorporating sustainability-related SSIs into undergraduate general chemistry education in the USA. The case studies were run at a public research university in California, USA. The question of this innovation study was: How does the integration of sustainability-related SSIs into undergraduate general chemistry teaching affect students' motivation and perception of chemistry and its role in our life?

For the purpose of the study, the digital learning environment on fracking was translated into English in the winter of 2016 and then revised in the content based on local and regional references through several cycles. It was first used in April 2017. Later the second example on phosphate recovery was translated and adapted in the winter of 2017. Again, several revisions took place, adding relevant information and modifying its structure and organization, to increase its effectiveness and adaptability in the USA before running the intervention in April 2018. Both interventions generally followed the structure of the socio-critical and problem-oriented curriculum approach for science teaching (Figure 1). In comparison to the original model, no experiments were included in these first implementation cases due to the large number of students enrolled and the rigid lab schedule followed at the institution.

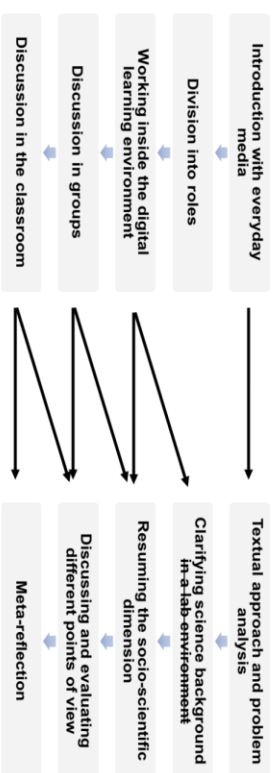


Figure 1. Adaptation of the socio-critical and problem-oriented approach

Both interventions started by introducing the students to the digital learning environment and highlighting the connection to the content during the lectures in general chemistry. In each environment, the starting pages contain several newspaper headings which document the societal relevance of the topics like “Thousands of spills at US oil and gas fracking sites” for fracking and “Feeding the world’s insatiable hunger for phosphorus” for the phosphate discussion. Then, the

C. Zowada, O. Gulacar & I. Elks, *Innovating undergraduate general chemistry*

students were assigned different roles for later discussions (Table 1). The roles were suggested to prevent the students from getting distracted in the digital learning environment. These tasks allowed students to focus on certain aspects inside the digital learning environment. The students were, however, allowed to read whatever they were interested in. Finally, the students, during the weekly discussion sessions, were split into groups of four, each assuming a specific role. Following the group formations, the students were asked to defend their point of views and present different perspectives on the topic. After the small group discussions, the whole section discussion was encouraged to let them debate on the topic with a broader audience and to reflect the role of chemistry in decisions about the sustainability issues in question.

Table 1. Roleplay roles

Topic	Hydraulic Fracturing	Phosphate Rock
Role 1	Politician	Economist
Role 2	Industrial representative	Industrial representative
Role 3	Environmental activist	Environmental activist
Role 4	Scientist	Farmer

A short overview of students' feedback

Student feedback was collected using a questionnaire with four level Likert scaled items as well as free response questions on the perception of the intervention. In the case of fracking, 888 students enrolled in the course and 842 volunteered to participate in the study (Zowada et al., 2018). 65% mostly or fully agreed that they enjoyed learning about hydraulic fracking, while about 30% of students partially agreed. After the intervention, 72% of the students agreed and mostly agreed that this activity helped them realize how complex making a decision regarding science and technology in a case like hydraulic fracking can be. 76.5% fully and mostly agreed that the combination of the learning environment and a guided discussion around the topic provided an effective way to learn how society generally deals with chemical issues. Although it seems that political leaders in the US have already made their mind about fracking, 70% of the students supported that it is still important to discuss different dimensions of hydraulic fracking. A small group of students, about 30%, agreed or mostly agreed that learning about topics like fracking motivated them to learn chemistry more in depth. 82% of the students supported a view that hydraulic fracking is relevant to their lives, but only 38% of students agreed or mostly agreed that fracking should be part of the chemistry curriculum. The students took a similar stance when asked about incorporating more SSI topics into the general chemistry curriculum, with 40% fully or mostly agreed with the concept. So, the students see this topic as relevant for themselves, but meanwhile many of them would be reluctant to integrate it into chemistry curriculum. 55% considered fracking interesting and 73% agreed that they became more sensitive to environmental issues. There seemed to be a mismatch in the appreciation of the topic as such and its integration into college chemistry education. In the free response questions, most students mentioned how much they enjoyed learning about fracking and suggested that it was a good way to learn how society deals with chemistry-based topics. One student mentioned that “The topic of fracking entices my curriculum by bringing in a real-world topic that we are able to discuss and further learn

about. [...] it is important to be informed on the different aspects of it. Learning about all the different sides of fracking allows me to make a well-rounded opinion about it and I will be able to discuss it with my peers." While most students appreciated the personal relevance, some did not think that fracking should be part of the college chemistry curriculum. The students in this group did not see a connection and stated that "We are learning about buffer solutions, acids, and bases. Fracking has no relationship to these topics in our class, as we are learning them". This reluctance could be related to the fact that the instructor did not plan to include a question on the topic of fracking or phosphate on the test. It is well known that students in general study for the test, not for meaningful learning to happen (McGuire & McGuire, 2016).

The findings on the phosphate issue were very similar with 709 students, who completed the perception questionnaire. According to the survey on phosphate recovery, about 91% of the students agreed or mostly agreed, that they learned a lot on phosphate according to their own perception. About 73% partially agreed that they will be more sensitive in future towards the issue. Most students stated that they liked (79% agreed or mostly agreed) the activity and had fun (62% agreed or mostly agreed) learning about this issue. Also, the topic was unknown to most students, so that 68% agreed that they learned a lot of information they did not know before. 63% of the students agreed or mostly agreed that the topic motivated them to deal more in depth with chemistry in their daily life. This finding was different from that obtained the fracking study. The phosphate intervention motivated them more to learn chemistry in depth. In the free response questions, again, some saw the importance but did not consider the topic relevant for a college chemistry curriculum: "Learning about phosphates is very important however it has nothing to do with my chosen field of study". Another student also did not see the value in learning about phosphate: "I don't think learning about phosphates is beneficial in improving my skills in my major".

Reflections from the transfer implementation process

These cases are based in two lesson plans designed for secondary chemistry education in Germany. Due to the need for innovation in undergraduate general chemistry teaching in the USA, the underlying curriculum model and both examples were transferred and adapted to local conditions in the USA. While one can adapt a totally new approach, like Chemical Thinking (Talanquer & Pollard, 2017) or CLUE (Cooper & Klymkowsky, 2013), and revamp the whole general chemistry curriculum including lectures and labs, it is clear that it requires a lot of resources, time, and effort on the side of the instructor. Even if the whole curriculum was reformed by adapting one of these innovative approaches, the instructor still needs to do a lot to find out if all the components of the new approach are successful and deal with several implementation challenges like convincing students that this new method is more effective. Therefore, starting to change small portions of the curriculum at a time seems more practical. This way, the instructor can test their effectiveness more easily and monitor students' reaction closely to determine the best set of actions for the future implementation plans. This was the case here. Having felt a missing connection between curriculum content and the real world, the idea raised to include further small SSIs into the course.

C. Zowada, O. Gulacar & I. Elks, Innovating undergraduate general chemistry

In the first case (fracking), the adaptation of the learning environment and the associated lesson plan was mostly driven by the external partners from Germany to bring the digital learning environment into teaching. The digital learning environment was introduced via a video conference and roughly translated afterwards. The translation was reviewed by the local partners and the content was adapted to the debate in the USA. In a second video conference, the digital learning environment was reviewed together, and critical points were clarified. After a second revision round including a third video conference, the digital learning was tested. So, the typical iterative process of action research was applied here as in its original development. Since the student feedback was generally positive (Zowada et al. 2018), the idea emerged to include more sustainability-related SSI into U.S. undergraduate chemistry teaching. While incorporating the second case (phosphate recovery), views began to change and the influence of the local partners in the USA increased as they modified the digital learning environment more thoroughly on their own and took more control on the whole implementation plan. The student feedback documented after the implementation of the first case changed the views and beliefs of the local partners and encouraged them to assume more responsibility, which resulted in increasing their ownership of the innovation process, as described in long-term cooperation of teachers for curriculum innovation by participatory action research (Elks & Markic, 2011; Elks, 2018). Furthermore, the process led to new plans to design their own learning environments on new topics such as nanotechnology and alternative energies with the involvement of students.

The role of the external partners changed from providing learning environments to guide lining processes and discussing the issues. The local partner became engaged in thinking of new ways of teaching and developing techniques for incorporating sustainability-related SSIs (Figure 2). Action research and innovation started engaging and empowering the local partners to design own interventions to solve problems and fight deficits in their own teaching. This procedure is comparable to a case recently described by Laudonia and Elks (2018) related to innovating vocational education through international cooperation and use of action research.

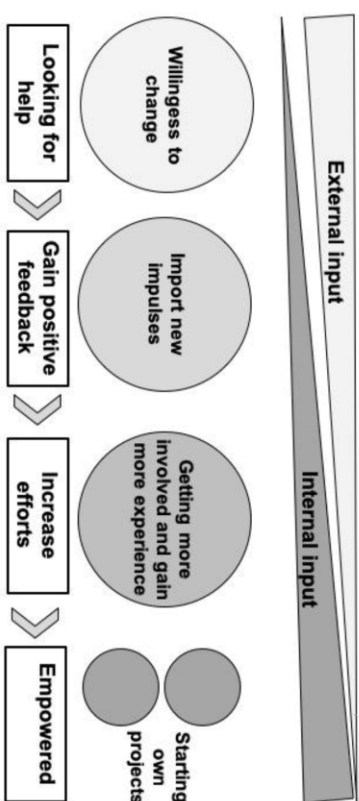


Figure 2. Visualization of emancipation process out the perspective of the local partner

7

Conclusion

Teaching about current developments of sustainability is challenging, but promising (Zuin & Mammio, 2016). Some topics might cool down, while others heat up. Topics such as those discussed in this paper may go out of fashion in some years – but the cases described here show that they should be included into teaching chemistry, both at the secondary and undergraduate level. Critical views on whether the topics are relevant for the curricular, exam, or future profession must be dealt with. It is, however, maybe a question of how to integrate them, to reform assessment accordingly, and to teach the students to have a more holistic view about chemistry and its applications. Educational theory has enough justification that students should learn about them, both as being a science minor or major (Sjöström et al., 2016).

Along with a discussion around sustainability-related SSIs, young learners can learn, how society deals with chemical issues and how decisions are made. A more comprehensive view is provided with the opportunity of thinking across disciplines. Additionally, there is opportunity to better connect science learning to issues relevant to daily life and society. Bringing such “hot” topics into teaching through action research and innovation studies have high potential for both, curriculum innovation and teacher professional development. Furthermore, Hodson (2003) sees action research as “probably the only coherent and viable way of addressing the issues of curriculum evaluation, curriculum development and professional development/teacher education that are central to the implementation of this radically new form of science education” (p. 665). Action research aims for change and involves the learners as subjects and as part of the development process; their feedback is useful to improve learning environments but also to allow the teachers to better understand their students’ perception and constraints.

Intertrelated problems in teaching chemistry as summarized by Gilbert (2006) (e.g. an overload of curricula or the learning of isolated facts) should lead to think about changes in teaching. This was also recently suggested for undergraduate general chemistry courses (Cooper, 2010; Cooper & Klymkowsky, 2013). Thereby, including human activities into teaching of general chemistry is important because an “overemphasis is often placed on providing all of the foundational pieces for the few students who major in chemistry, rather than for the majority of students who will pursue careers in health professions, engineering or other areas” (Mahafy, 2015, p. 7). An example of this integration was done on climate change with postsecondary general chemistry students, which aims for surpassing “inert” ideas (Mahafy et al., 2017). This can be interpreted as a radical change towards a more societal oriented approach. Current topics and issues, like nanotechnology, food security and alternative energy supply, are, however, of utmost importance for the sustainable development of every modern society. Also, the discourse on the Anthropocene and the planetary boundaries can lead to fruitful discussion in chemistry teaching (Mahafy, 2014). Action research and cooperation for innovation in the two cases described here proved to provide a potential way of action. However, assessment also has to change in order to allow students not only to be motivated by the content and pedagogy, but also by a clear view on the benefit of this kind of learning for their future.

C. Zowada, O. Gulacar & I. Elks, *Innovating undergraduate general chemistry*

References

- Andrioso, J., & Dicks, A. P. (2012). Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 69–79.
- Burnmeister, M., Rauch, F., & Elks, I. (2012). Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 59–68.
- Cooper, M. (2010). The case for reform of the undergraduate general chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 87, 231–232.
- Cooper, M. & Klymkowsky, M. (2013). Chemistry, life, the universe, and everything: a new approach to general chemistry, and a model for curriculum reform. *Journal of Chemical Education*, 90, 1116–1122.
- Elks, I. (2002). Teaching “biodiesel”: a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching and students’ first views on it. *Chemistry Education: Research and Practice*, 3, 67–75.
- Elks, I. (2018). Action research in science education: a twenty-years personal perspective. *Action Research and Innovation in Science Education*, 1, in print.
- Elks, I., & Hofstein, A. (2014). Combining the question of the relevance of science education with the idea of education for sustainable development. In I. Elks, S. Markic & B. Ralle (eds.), *Science education research and education for sustainable development* (pp. 3–14). Aachen: Shaker.
- Elks, I. & Markic, S. (2011). Effects of a long-term Participatory Action Research project on science teachers’ professional development. *European Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 7, 149–160.
- Elks, I., & Ralle, B. (2002). Participatory Action Research in chemical education. In B. Ralle & I. Elks (eds.), *Research in Chemical Education - What does this mean?* (pp. 87–98). Aachen: Shaker.
- Elks, I., Sjöström, J., & Zuin, V. G. (2018). The responsibility of chemists for a better world: challenges and potentials beyond the lab. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, 12, 97–106.
- Elmose, S., & Roth, W.-M. (2005). Allgemeinbildung: readiness for living in risk society. *Journal of Curriculum Studies*, 37, 11–34.
- European Commission (2014). *Report on critical raw materials for the EU*. www.catalogue.ec.europa.eu/wp-content/uploads/2015/05/2014_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf (March 31, 2018).
- Griggs, D.; Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kane, N. & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305–307.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28, 957–976.
- Hodson, D. (2003). Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25, 645–670.
- Hogg, D., DiGiandomo, A., El Halwani, S., Kristovic, M., Phillips-MacNeil, C., Milanovic, M., Nishizawa, T., Majd Zouaia, M., & Benze, L. (2017). Science for citizenship: using PreziTM for education about critical socio-scientific issues. In L. Benze (eds.), *Science and technology education promoting wellbeing for individuals, societies and environments* (pp. 350–380). Dordrecht: Springer.
- Hofstein, A., Elks, I., & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education—a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany, and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9, 1459–1483.

- Jenkins, E. W., Nelson, N. W. (2005). Important but not for me: students' attitudes towards secondary school science in England. *Research in Science and Technology Education*, 23, 41-57.
- Killiches, F. (2013). *Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit* [Phosphate – mineral resource and essential nutrient for worldwide food supply security]. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe on behalf of the Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).
- Krause, M., & Elks, I. (2014). Innovating chemistry learning with PREZL. *Chemistry in Action*, no. 104, 19-25.
- Laudonia, I., & Elks, I. (2018). Teacher-centred action research in a remote participatory environment – A reflection on a case of chemistry curriculum innovation in a Swiss vocational school. In J. Calder & J. Folletta (eds.), *Participatory Action Research (PAR): Principles, approaches and applications* (pp. 215-231). Hauppauge: Nova.
- Mahaffy, P. G. (2014). Telling time: chemistry education in the anthropocene epoch. *Journal of Chemical Education*, 91, 463-465.
- Mahaffy, P. G. (2015). Chemistry Education and Human Activity. In J. Garcia-Martinez & E. Serrano (eds.), *Chemistry education: best practices, innovative strategies and new technologies* (pp. 3-26). Weinheim: Wiley VCH.
- Mahaffy, P. G., Holme, T. A., Martin-Visscher, L., Martin, B. E., Verspille, A., Kirchhoff, M., McKenzie, I., & Towns M. (2017). Beyond 'inert' ideas to teaching general chemistry from rich contexts: visualizing the chemistry of climate change (VCC3). *Journal of Chemical Education*, 94, 1027-1035.
- Marks, R., & Elks, I. (2009). Promoting scientific literacy using a sociocritical and problem-oriented approach to chemistry teaching: concept, examples, experiences. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4, 231-245.
- Marks, R., & Elks, I. (2010). Research-based development of a lesson plan on shower gels and must fragrances following a socio-critical and problem-oriented approach to chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 129-141.
- Martin, S. A., Mehta, G., Hopf, H., & Krief, A. (2015). The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, 7, 941-943.
- McGuire, S. Y., & McGuire, S. (2016). *Teach students how to learn: Strategies you can incorporate into any course to improve student metacognition, study skills, and motivation*. Sterling: Stylus Publishing, LLC.
- Niessen, N., & Piom, T. (eds.). (2013). *Educational design research*. Enschede: SLO.
- Osborne, J. (2007). Science education for the twenty first century. *European Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3, 173-184.
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: critical reflections*. London: The Nuffield Foundation.
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513-536.
- Sadler, T. D. (2011). Situating socio-scientific issues in classrooms as a means of achieving goals of science education. In T. D. Sadler (ed.), *Socio-scientific issues in the classroom – teaching, learning and research* (pp. 1-9). Dordrecht: Springer.
- Simonneaux, L. (2014). From promoting the techno-sciences to activism – A variety of objectives involved in the teaching of SSIs. In L. Benzece & S. Alsop (eds.), *Activist science and technology education* (pp. 99-111). Dordrecht: Springer.
- Stjörström, J., Elks, I., & Zaim, V. G. (2016). Towards eco-reflexive science education - a critical reflection about educational implications of green chemistry. *Science & Education*, 25, 321-341.
- Stjörström, J., & Talanquer, V. (2018). Eco-reflexive chemical thinking and action. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 16-20.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Elks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49, 1-34.
- Talanquer, V., & Pollard, J. (2017). Reforming a large foundational course: successes and challenges. *Journal of Chemical Education*, 94, 12, 1844-1851.
- United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&lang=E (April 15, 2018).
- United Nations Conference on Environment and Development (UNCED) (1992). *Agenda 21*. Rio de Janeiro: UNCED.
- Zowada, C., & Elks, I. (2018). Fracking: ein kontroverses Thema für den fächerübergreifenden Chemieunterricht multimedial umgesetzt [Fracking: a controversial topic for interdisciplinary chemistry teaching operated by multimedial]. *MNU Journal*, 2018, 246-252.
- Zowada, C., Gulacar, O., & Elks, I. (2018). Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students. *Journal of Chemical Education*, 95, 553-559.
- Zowada, C., Siol, A., Gulacar, O., & Elks, I. (under review). Phosphatrückgewinnung – angewandte Umweltechnik in Schule und Schlatterlabor [Phosphate recovery – applied environmental technology in school and the non-formal laboratory]. *Chemie konkret*.
- Zaim, V. G., & Mammimo, L. (eds.). (2015). *Worldwide trends in green chemistry education*. Cambridge: RSC.
- Zaim, V. G. (2012). *Environmental dimension in chemistry teacher education*. Guanabara: Editora Atom.



Anhang VII: Erhebungsinstrumente

Im Folgenden werden die einzelnen Erhebungsinstrumente dieser Arbeit aufgeführt, welche teilweise verkürzt dargestellt werden, um die Seitenanzahl gering zu halten. So hatten die Lernenden natürlich genügend Platz auf den jeweiligen Seiten, um ihre Antworten direkt einzutragen oder ebenso enthielt der Beobachtungsbogen Felder zum Eintragen der entsprechenden Beobachtungen.

Anhang VII.1: Interviewleitfaden

Leitfrage / Erzählaufforderung	Memo
Welche Erinnerungen haben Sie an Ihren Geographie-/Erdkundeunterricht?	Einstieg
Beschreiben Sie bitte, was Sie unter Geographie verstehen. <u>mögliche Aufrechterhaltung, falls sich stark auf eigene Erfahrung bezogen wird:</u> Das beziehen Sie jetzt recht stark auf Ihre eigene Erfahrung - können Sie versuchen, das allgemeiner zu formulieren?	Verständnis von Geographie der Lehrkraft
Beschreiben Sie, wo Sie aus Ihrer Sicht Gemeinsamkeiten zwischen der Geographie/Erdkunde und der Chemie sehen. <u>Ggf. verdeutlichen</u> , dass es nicht nur um Schule, sondern um die Disziplin gehen kann. Sehen die Lehrer da einen Unterschied? <u>Ggf. Wenn wir jetzt zum schulischen Kontext zurückkommen:</u> Wenn Sie an thematische Überschneidungen zwischen den Fächern denken, was geht Ihnen durch den Kopf.	Gemeinsamkeiten Ggf. Input →Themenkarten
Inwieweit spiegeln sich Gemeinsamkeiten in ihrem Chemieunterricht wider? <u>Nachfrage, falls Überschneidung allgemein formuliert:</u> Können Sie mir ein konkretes Beispiel aus Ihrem Unterricht beschreiben? <u>Nachfrage, falls keine Überschneidung genannt:</u> Können Sie sich ein konkretes Beispiel vorstellen?	
<u>Folgefragen, falls oben:</u> Würden Sie sagen, dass Sie bewusst die Geographie mit einbezogen haben? <u>Folgefragen, falls unten:</u> Können Sie mir Gründe erläutern, warum Sie das nicht tun?	Vor- oder Nachteile / Hindernisse
Beschreibung des drei Säulen Modells	M1
Dieses Modell gilt auch für das Schulfach Geographie. Können Sie das Fach Chemie in das Modell einordnen und/oder sehen Sie Überschneidungen?	
<u>Folgefragen, falls positiv:</u> Können Sie Vorteile beschreiben, die Sie in einer Verbindung der Fächer sehen? Sehen Sie auch Nachteile? <u>Folgefragen, falls neutral und negativ:</u> Können Sie Nachteile beschreiben, die Sie in einer Verbindung der Fächer sehen? Sehen Sie auch Vorteile?	
Inwieweit können Sie sich vorstellen, Überschneidungen einmal bewusst in ihrem Unterricht zu thematisieren?	Bereitschaft
Wenn Sie an Ihren eigenen Unterricht denken, können Sie Gründe beschreiben, von denen dies abhängig sein wird? <u>Mögliche Einflussnahme:</u> Macht das Alter bspw. hier einen Unterschied oder die Schulform, Zeit, die Fähigkeiten von SuS oder LuL?	
Können Sie an Themen oder Beispiele denken, wo Sie eine Überschneidung einbinden könnten? <u>Falls kein Beispiel kommt:</u> Klimawandel, Rohstoffe, Umweltverschmutzung	
<u>Ggf Nachfragen:</u> Können Sie Vorteile für ein bewusstes Benutzen der Geographie im Chemieunterricht nennen?	
Wenn ich Sie noch einmal frage, ob Sie Überschneidungen von Geographie und Chemie in Ihrem Unterricht verwendet haben, würden Sie noch etwas ergänzen?	
Formulieren Sie abschließend Ihre Meinung zu dem Integrieren einer geograph. Perspektive in den Chemieunterricht.	
Gibt es noch irgendetwas, was Sie ergänzen möchte oder auf dem Herzen haben?	Abschluss

M1 Modell der Geographie mit Beispielen



Stichpunkte:	Naturwissenschaftliche Grundperspektive	Gemischte Grundperspektive	Sozialwissenschaftliche Grundperspektive
	Struktur und Dynamik der physischen Welt und wirkende Kräfte (Wind, Temperatur, ...) Beschäftigung mit Sphären (Atmosphäre /Hydrosphäre/...)	Fragestellungen lassen sich nicht nur durch eine der beiden Säulen lösen z.B. zur Nachhaltigkeit oder globalen Ressourcenkonflikten	Verhältnis von Gesellschaft und Raum, zum Beispiel in Städten oder bei Wirtschaftszweigen oder der Mobilität (Pendlerverkehr)
Beispiel:	Klimawandel	Klimaflüchtlinge	Migration

Anhang VII.2: Fragebogen zum Unterrichtsmodul Fracking

Liebe Schüler, liebe Schülerin,

du hast dich in den letzten Stunden mit dem Thema Fracking in einer Lernumgebung mit der Software PREZI beschäftigt. Uns interessiert, wie du diese Art des Unterrichts einschätzt. Bitte fülle daher diesen Fragebogen anonym, sorgfältig und ohne Austausch mit deinen Nachbarn aus. Bitte beantworte zunächst die Fragen auf dieser Seite, bevor du dich der zweiten Seite zuwendest. Mache bitte auch keine Änderungen auf der ersten Seite mehr, nachdem du mit der zweiten Seite fertig bist.

Deine Arbeit hilft uns sehr – vielen Dank für deine Mühe!

Geschlecht : ☐ männlich ☐ weiblich

1. Welches sind deiner Meinung nach die wesentlichen Dinge, die du im Unterricht zum Fracking gelernt hast?

2. Wie kann die Lernumgebung zum Fracking verbessert werden?

3. Beschreibe deine Meinung zum Fracking in Stichworten, nachdem du Etwas darüber gelernt hast.

4. Bitte kreuze bei den Aussagen an, in wie weit du ihnen du zustimmen würdest oder nicht!

a) Ich habe verstanden, worum es beim Fracking geht.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

b) Der Unterricht hat mich nachdenklich über das Thema Fracking gestimmt.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

c) Umstrittene Themen, wie das Fracking, sollte man öfter im Chemieunterricht behandeln.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

d) Nachrichtenbeiträge oder Zeitungsartikel über Fracking kann ich nun kritischer beurteilen als zuvor.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

e) Mir gefiel der Unterricht, weil es nicht nur um „chemische Inhalte“ ging.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

f) Mir gefiel der Unterricht nicht, weil es zu wenig um Formeln und Reaktionen ging.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

g) Das Thema Fracking ist nicht so wichtig, als dass man es in der Schule behandeln sollte.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

h) Mir gefiel der Unterricht über Fracking, weil Fracking ein interessantes Thema ist.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

i) Die Bedienung der PREZI fiel mir leicht.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

j) Dadurch, dass man im Unterricht mit Computer-Lernumgebungen arbeitet, macht der Unterricht mehr Spaß.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

k) Die Textmenge in der PREZI war zu viel.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

l) Mir gefiel es, dass die Inhalte mit PREZI dargestellt waren.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

Anhang VII.3: Questionnaire on the teaching about fracking

Dear student,

in the past few hours, you dealt with the topic fracking using a digital learning environment based on the software PREZI. We are interested in how you rate this topic. Please complete this questionnaire anonymously, carefully and without any exchange with your classmates. Please answer the questions on this page before you go to the second page. Do not make any changes on the first page after you will have finished the second page.

Your work help us a lot - thanks for your efforts!

Semester: _____

Gender:

☐ male ☐ female

1. How much does the topic of fracking enrich the curriculum in your course of studies?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
very strong		strong					weak		very weak

2. Give reasons for your decision.

3. Please, describe your opinion on the use of fracking technology and give reasons for it.

4. Please tick in the statements, how far you would agree to them or not!

a) Fracking is an interesting topic for me.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

b) Our discussion of fracking will not change my attention towards the topic of fracking in the future.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

c) Controversial topics, such as fracking, should be part of the chemistry curriculum.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

d) I personally think that the topic of fracking is not relevant to me.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

e) Fracking is a relevant topic for the chemistry curriculum.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

f) I believe that fracking is an interesting topic for high school students as well.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

g) Topics such as fracking motivate me to learn chemistry more in depth.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

h) I think that fracking is so important that it should be covered/discussed in school.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

i) It makes little sense to discuss fracking since the political decisions about it have already been made.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

j) I believe that discussion about how society approaches fracking is a good way to learn about how society deals with chemical issues.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

k) Our discussion about fracking made me realize just how complex decisions regarding chemical technologies are.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

l) I enjoyed learning about fracking.

☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partly ☐ disagree

Anhang VII.4: Knowledge Test on Fracking

Use	Question	Answer (right: underlined)
Pre/post	62446: Hydraulic Fracturing (Fracking) is used to ____	<u>Extract oil from the earth</u> <u>Extract natural gas</u> produce electricity dispose of wastes
Pre/post	62447: Choose the correct statement	<u>The main difference between hydraulic fracturing and more conventional methods lies in the extraction process</u> Toxins and carcinogens are the main ingredient in fracking liquid contains After the drilling process is completed, the whole area is sealed; however, this area cannot be recultivated The United States stores the waste water (residue fracking liquid) in sealed and wellmaintained tanks
Pre/post	62448: All of these statements about the differences between hydraulic fracturing and conventional oil extraction are true EXCEPT ____	Fracking is used in to extract gas from reservoirs found in impermeable rock whereas conventional methods are used in reservoirs in permeable rock Fracking utilizes a largely waterbased fluid to help with the extraction process whereas conventional methods do not <u>Fracturing has the potential to contaminate water supplies whereas conventional methods do not</u> Fracking employs horizontal drilling whereas conventional methods do not
Pre/post	62449: Potential environment risks from hydraulic fracturing include all of the following EXCEPT ____	Climate change Radiation exposure from fracking wells Threats to drinking water <u>Overuse of resources to make fracking equipment</u>
Pre/post	62450: There is no strong evidence that supports which of the following claims?	Fracking emissions contribute to climate change <u>Fracking causes earthquakes</u> Fracking transports radioactive material to the earth's surface Fracking pollutes drinking water
Pre/post	62451: Did Barack Obama support fracking?	No <u>Yes</u>
Pre/post	62452: Which company is the largest user of fracking technologies in the United States?	Chevron Halliburton British Petroleum (BP) <u>Exxon Mobil</u>
Pre/post	62453: What are the two major components that affect the use of hydraulic fracturing?	<u>Economic favorability and gas availability</u> Energy consumption and public opinion Land availability and government support Water availability and time
Pre/post	62454: All geologists believe that Fracking is too risky to be practiced	True <u>False</u>
Pre/post	62455: The controversy over hydraulic fracturing arises from all of the following except ____?	Economic profitability Political agenda Environmental risks <u>Gas availability</u>
Pre/post	62456: The process of hydraulic fracturing became popular due, in large part, to ____	Environmental benefits and low risks Energy needs and abundance of water <u>High gas prices and technological advancements</u> Public support and government funds
Pre/post	62457: The regulation of practices such as hydraulic fracturing is, in large part, left to the ____?	Grassroot governments <u>State Governments</u> An International Committee Federal Government
Pre/post	62458: The US has the ____ largest shale gas reserve in the world	<u>5th</u> 10th 1st

		3rd
Pre/post	62459: What aspect of fracking is linked to possibly contaminating ground water?	fracture width <u>fracking liquid</u> too much oil in the shale rock deposits horizontal drilling
Pre/post	62460: What are the major benefits of resource extraction by hydraulic fracking? The ability to extract natural gas from unconventional and hard-to-reach gas deposits The Fracking process includes horizontal drilling, which increases the productivity of a single well Drilling sites that require low maintenance	III II I & III <u>I& II</u>
environ	62441: Hydraulic Fracturing (Fracking) is used to ____	<u>Extract oil from the earth</u> <u>Extract natural gas</u> produce electricity dispose of wastes
environ	62442: Which of the following claims do not have strong scientific support?	<u>Fracking causes earthquakes</u> Fracking transports radioactive material to the earth's surface Fracking emissions contribute to climate change Fracking pollutes drinking water
environ	62443: Potential environment risks from hydraulic fracturing include all of the following EXCEPT ____	<u>Overuse of resources to make fracking equipment</u> Radiation exposure from fracking wells Climate change Threats to drinking water
environ	62444: What aspect of fracking is linked to possibly contaminating ground water?	fracture width <u>fracking liquid</u> too much oil in the shale rock deposits horizontal drilling
environ	62445: Choose the correct statement	<u>The main difference between hydraulic fracturing and more conventional methods lies in the extraction process</u> Toxins and carcinogens are the main ingredient in fracking liquid contains After the drilling process is completed, the whole area is sealed; however, this area cannot be recultivated The United States stores the waste water (residue fracking liquid) in sealed and wellmaintained tanks
Indus.	62436: Hydraulic Fracturing (Fracking) is used to ____	<u>Extract oil from the earth</u> <u>Extract natural gas</u> produce electricity dispose of wastes
Indus.	62437: The controversy over hydraulic fracturing arises from all of the following except ____?	Economic profitability Political agenda Environmental risks <u>Gas availability</u>
Indus.	62438: Which company is the largest user of fracking technologies in the United States?	Chevron Halliburton British Petroleum (BP) <u>Exxon Mobil</u>
Indus.	62439: What are the major benefits of resource extraction by hydraulic fracking? The ability to extract natural gas from unconventional and hard-to-reach gas deposits	III II I & III <u>I& II</u>

	The Fracking process includes horizontal drilling, which increases the productivity of a single well Drilling sites that require low maintenance	
Indus.	62440: What are the two major components that affect the use of hydraulic fracturing?	<u>Economic favorability and gas availability</u> Water availability and time Land availability and government support Energy consumption and public opinion
politic	62558: Hydraulic Fracturing (Fracking) is used to ____	<u>Extract oil from the earth</u> <u>Extract natural gas</u> produce electricity dispose of wastes
politic	62559: The process of hydraulic fracturing became popular due, in large part, to ____	Environmental benefits and low risks Energy needs and abundance of water <u>High gas prices and technological advancements</u> Public support and government funds
politic	62560: What are the two major components that affect the use of hydraulic fracturing?	<u>Economic favorability and gas availability</u> Water availability and time Land availability and government support Energy consumption and public opinion
politic	62561: The regulation of practices such as hydraulic fracturing is, in large part, left to the ____?	Grassroot governments <u>State Governments</u> An International Committee Federal Government
politic	62562: The US has the ____ largest shale gas reserve in the world	<u>5th</u> 10th 1st 3rd
Science	62466: Hydraulic Fracturing (Fracking) is used to ____	<u>Extract oil from the earth</u> <u>Extract natural gas</u> produce electricity dispose of wastes
science	62467: Potential environment risks from hydraulic fracturing include all of the following EXCEPT ____	<u>Overuse of resources to make fracking equipment</u> Radiation exposure from fracking wells Climate change Threats to drinking water
science	62468: Which of the following claims do not have strong scientific support?	<u>Fracking causes earthquakes</u> Fracking transports radioactive material to the earth's surface Fracking emissions contribute to climate change Fracking pollutes drinking water
science	62469: All of these statements about the differences between hydraulic fracturing and conventional oil extraction are true EXCEPT ____	Fracking is used in to extract gas from reservoirs found in impermeable rock whereas conventional methods are used in reservoirs in permeable rock Fracking utilizes a largely waterbased fluid to help with the extraction process whereas conventional methods do not <u>Fracturing has the potential to contaminate water supplies whereas conventional methods do not</u> Fracking employs horizontal drilling whereas conventional methods do not
science	62470: Choose the correct statement	<u>The main difference between hydraulic fracturing and more conventional methods lies in the extraction process</u> Toxins and carcinogens are the main ingredient in fracking liquid contains After the drilling process is completed, the whole area is sealed; however, this area cannot be recultivated The United States stores the waste water (residue fracking liquid) in sealed and wellmaintained tanks

*Anhang VII.5: Fragebogen zum Unterricht über Pestizide***Liebe Teilnehmende,**

Sie haben sich mit dem Thema Pestizide beschäftigt. Uns interessiert, wie Sie dies einschätzen. Bitte füllen Sie daher diesen Fragebogen sorgfältig und ohne Austausch mit Ihren Nachbarn aus. Es gibt in diesem Fragebogen keine richtigen oder falschen Antworten – jede Antwort ist für uns hilfreich! Bitte bearbeiten Sie die Seiten nacheinander und nehmen Sie keine Änderungen auf den ersten Seiten vor, nachdem Sie diese bearbeitet haben. Ihre Ergebnisse haben keinerlei Einfluss auf Ihre Noten und Ihre Mitarbeit ist natürlich freiwillig. Selbstverständlich behandeln wir Ihre Daten vollständig anonym. Vielen Dank für Ihre Mühe!

Geschlecht: ☐ männlich ☐ weiblich ☐ sonstiges

Schule: _____

Klassenstufe: _____

1) Nennen Sie die wichtigsten Aspekte, die Sie im Unterricht über Pestizide gelernt haben.

2) Beschreiben Sie die Aspekte, die Ihnen besonders gut gefallen haben.

3) Beschreiben Sie, was wir verändern oder verbessern sollten.

4) Nehmen Sie begründet Stellung zu folgender Aussage:

„Landwirtschaft ohne Pestizide – das geht nicht!“

5) Beschreiben Sie, wie Ihnen das Arbeiten mit Vânia Gomes Zuin gefallen hat.

6) Bitte kreuzen Sie bei den folgenden Aussagen an, inwieweit Sie ihnen zustimmen würden oder nicht. Kreuzen Sie genau eine Antwort an.

a) Ich fand das Thema Pestizide interessant.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

b) Der Unterricht hat mich motiviert, zukünftig (stärker) Medienbeiträgen über Pestizide zu folgen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

c) Ich finde es wichtig, dass das Thema Pestizide in der Schule behandelt wird.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

d) Ich fand es gut, dass die ausgewählten Expertinnen Frauen waren.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

e) Ich empfand das Arbeiten mit den Videos der Wissenschaftlerinnen als motivierend.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

f) Die Verknüpfung mit Brasilien empfand ich motivierend.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

g) Das Arbeiten mit dem Nachhaltigkeitsnetz hat mir gefallen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

h) Das Nachhaltigkeitsnetz war hilfreich, um konventionelle und grüne Pestizide zu vergleichen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

i) Das Unterrichtsmaterial war ansprechend gestaltet.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

j) Ich hatte Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Arbeitsaufträge.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

k) Die chemische Industrie ist wichtig für unsere Zukunft.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

l) Die chemische Industrie in Deutschland ist einer der Hauptverursacher von Umweltschäden.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

m) Die Verlängerung der Genehmigung von Glyphosat durch die EU war richtig.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

n) Ich bin bereit mehr für Obst und Gemüse zu bezahlen, wenn dafür auf künstliche Pestizide verzichtet wird.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

o) Green Pesticides sind eine gute Alternative zu künstlichen Pestiziden.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

Anhang VII.6: Beobachtungsbogen Unterricht zu Pestiziden für Lehrkräfte

Frage	Beobachtung
Einstieg: Welche Begriffe nennen die SuS bei M1? Wann kommen die ersten Meldungen? Verbesserungsvorschläge?	
Film 1: Wie reagieren die SuS? Verbesserungsvorschläge?	
Lerntempoduett: War die Erklärung angemessen/verständlich? Wie lange brauchen die SuS zum Lesen? Gibt es Fragen/unbekannte Wörter? Wann stehen die ersten SuS an der ersten/zweiten Haltestelle? Funktioniert die Methode? Werden die Tippkarten genutzt? Sind die Tippkarten angemessen? Verbesserungsvorschläge?	
Meinungsstrahl an Tafel: Material (Placemat) wird angemessen genutzt? Wie lange brauchen die SuS zum Verfassen der Mail? Sind alle SuS aktiviert? Wie lange brauchen SuS um die Mails an der Tafel zu platzieren? Wie sieht das Meinungsbild aus? Inwiefern ist die Zusammenfassung angemessen? Verbesserungsvorschläge?	
Übergang zum Glyphosat und Erklärung der Methode: Ist der Übergang funktional? Ist die Erklärung der Methode angemessen? Verbesserungsvorschläge?	
Film 2: Ist der Film angemessen? Sind die implizierten Pausen gut geplant (weiße Folien)? Machen die SuS während des Films Notizen? Gelingt es den SuS, die Spinne auszufüllen? Verbesserungsvorschläge?	
Ausstieg: Ist die Diskussion zu den ausgefüllten Spinnen angemessen? Ist die Überleitung zu Green Pesticides funktional? Verbesserungsvorschläge?	
Einstieg: Ist der Einstieg angemessen? Ist die Überleitung zu Green Pesticides funktional? Verbesserungsvorschläge?	
Film 3: Ist der Film angemessen? Sind die implizierten Pausen gut geplant (weiße Folien)? Schreiben die SuS während des Films Vor- und Nachteile auf? Verbesserungsvorschläge?	
Text Orangenöl: Wie lange brauchen die SuS zum Lesen? Gelingt es den SuS, die Spinne auszufüllen? Ist die Besprechung der Spinnen angemessen? Verbesserungsvorschläge?	
Vergleich G und O: Ist die Diskussion zielführend? Gibt es kontroverse Standpunkte? Werden alle SuS aktiviert? Ist das Fazit gelungen? Verbesserungsvorschläge?	
Allgemeines	
Besonderheiten Zum Beispiel: - es beteiligen sich SuS die sich sonst nicht beteiligen - die Aktivität ist höher als sonst - Vorwissen hoch?	
Ist die Methode der Nachhaltigkeitsspinne funktional/angemessen?	
Sonstiges	

Anhang VII.7: Fragebogen zum Schülerlaborbesuch Phosphat

Liebe Teilnehmende,

Sie haben sich mit dem Thema Phosphate beschäftigt. Uns interessiert, wie Ihnen dies gefallen hat. Bitte füllen Sie daher diesen Fragebogen sorgfältig und ohne Austausch mit Ihren Nachbarn aus. Bitte beantworten Sie zunächst die Fragen auf den ersten beiden Seiten, bevor Sie die dritte Seite bearbeiten. Machen Sie bitte keine Änderungen auf den ersten beiden Seiten mehr, nachdem Sie mit der dritten Seite fertig sind.

Ihre Arbeit hilft uns sehr – vielen Dank für Ihre Mühe!

Nennen Sie die wichtigsten Aspekte, die Sie gelernt haben (Lernumgebung und Schülerlaborbesuch).

Beschreiben Sie die Aspekte, die Ihnen bei Ihrem Besuch im Schülerlabor **gut** gefallen haben.

Beschreibe Sie, was wir am Schülerlabor verändern oder verbessern sollten.

Beschreiben Sie, was Ihnen an der Lernumgebung (Prezi) **gut** gefallen hat.

Beschreiben Sie, was Ihnen an der Lernumgebung (Prezi) **nicht** gefallen hat.

Bitte kreuzen Sie bei den folgenden Aussagen an, inwieweit Sie ihnen zustimmen würden oder nicht! Bitte kreuzen Sie genau eine Antwort an.

1) Ich habe das Gefühl, dass ich viel über Phosphate gelernt habe.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

2) Ich werde in Zukunft das Thema Phosphate in den Medien interessierter verfolgen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

3) Das Arbeiten mit der PREZI Lernumgebung zum Thema Phosphat hat mir gefallen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

4) Ich hatte Schwierigkeiten die Orientierung in der PREZI Lernumgebung zu behalten.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

5) Die PREZI Lernumgebung war gut gestaltet.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

6) Das Arbeiten im Schülerlabor zum Thema Phosphate hat mir gefallen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

7) Die Arbeitsmaterialien haben mir gefallen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

8) Ich hatte Probleme die Experimente durchzuführen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

9) Die Tippkarten im Schülerlabor waren hilfreich.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

10) Die Idee der Firma „P-science“ hat mir gefallen.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

11) Die Experimentieranleitungen waren verständlich.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

12) Die PREZI Lernumgebung und das Schülerlabor ergänzen sich gut.

☐ stimme zu ☐ stimme überwiegend zu ☐ stimme teilweise zu ☐ stimme nicht zu

Anhang VII.8: Questionnaire on the teaching about Phosphates

Open Question: Please name aspects, which you did not know before using the learning environment on phosphates and their recycling.

Please describe: What came into your mind while reading about phosphates and their recycling?

Rating scale: Please rate on the following scales: Learning about phosphates and their recycling enriches the curriculum in my field of studies.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
very weak		weak				strong			very strong

Open Question: Please, give reason for your decision.

Learning about phosphates and their recycling is important, although it may not deal with topics which are important for the test.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
very weak		weak				strong			very strong

Open Question: Please, give reason for your decision.

Likert Items:

- 1) In my perception, I learned a lot on phosphates and their recycling.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 2) I will look for more information on phosphates and their recycling after the course.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 3) I liked learning on phosphates.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 4) Learning on phosphates and their recycling was interesting.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 5) I learned lots of new information I did not know before.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 6) Learning about topics like phosphates and their recycling is important.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 7) The topic around phosphates and their recycling showed possible application for chemistry.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 8) I think, that phosphates and their recycling is so important that it should be treated in school.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 9) I had fun while dealing with phosphates and their recycling.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 10) Topics such as phosphates and their recycling, where a decision goes beyond the knowledge of classical chemistry, should be part of my training.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 11) The treatment of the topic of phosphates and their recycling has **not** increased my sensitivity in the news for this topic.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 12) Phosphates and their recycling is a relevant topic for the curriculum in chemistry.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree
- 13) Topics such as phosphates and their recycling motivate me to deal with the application of chemistry in my daily life more in depth.
☐ agree ☐ agree mostly ☐ agree partially ☐ Disagree

Ort, Datum: _____

Versicherung an Eides Statt

Ich, Christian, Zowada, Schlebuschstraße 17 in 28757 Bremen, 2614896 (Vorname, Name, Anschrift, Matr.-Nr.)

versichere an Eides Statt durch meine Unterschrift, dass ich die vorstehende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und alle Stellen, die ich wörtlich dem Sinne nach aus Veröffentlichungen entnommen habe, als solche kenntlich gemacht habe, mich auch keiner anderen als der angegebenen Literatur oder sonstiger Hilfsmittel bedient habe.

Ich versichere an Eides Statt, dass ich die vorgenannten Angaben nach bestem Wissen und Gewissen gemacht habe und dass die Angaben der Wahrheit entsprechen und ich nichts verschwiegen habe.

Die Strafbarkeit einer falschen eidesstattlichen Versicherung ist mir bekannt, namentlich die Strafandrohung gemäß § 156 StGB bis zu drei Jahren Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei vorsätzlicher Begehung der Tat bzw. gemäß § 161 Abs. 1 StGB bis zu einem Jahr Freiheitsstrafe oder Geldstrafe bei fahrlässiger Begehung.

Ort, Datum Unterschrift